mémotech

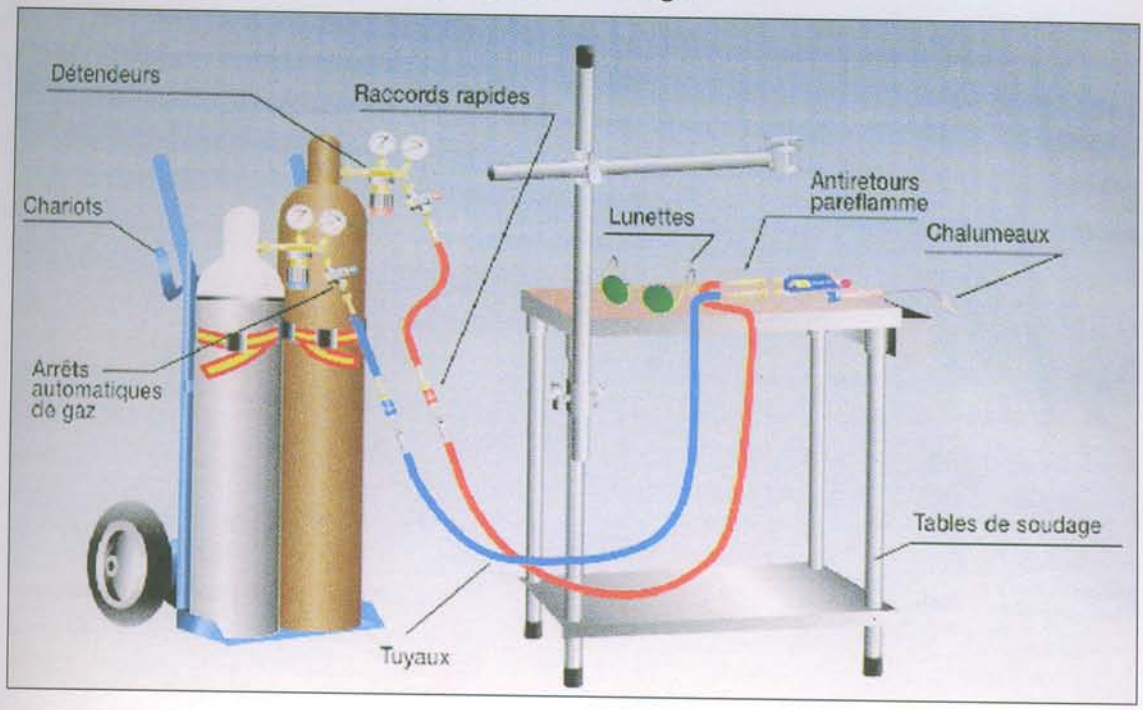
le soudage

données pratiques pour l'apprentissage

C. Hazard
F. Lelong
M. Lengl

educalivre

Installation de soudage "OA"



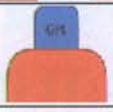
Soudage oxyacétylénique

33,500

Identification des bouteilles de gaz

Règle générale suivant norme NF EN 1089.3
4 couleurs

- Inerte / Asphyxiant
- Toxique et/ ou corrosif
- Inflammable
- Oxydant

Désignation gaz ou mélange	Couleur normalisée	Ancienne couleur de l'ogive	Nouvelle couleur de l'ogive
Oxygène O_2	Blanc		
Acétylène C_2H_2	Havane		
Propane C_3H_8	Rouge		
Tétrène Spécifique air liquide	Rouge		
Argon Ar	Vert foncé		
Argon / CO_2 Ar / CO2	Vert clair		
Anhydrite carbonique CO_2	Gris		
Hélium He	Gris foncé		
Azote N	Noir		
Argon / Hélium Ar / He	Vert clair		

SOMMAIRE

1. ➢ Le métier de SOUDEUR 7

2. ➢ Compétences professionnelles du soudeur 7

3. ➢ Références des normes utilisées en soudage 9

4. ➢ La métallurgie : 11

- ➢ 4.1. Les alliages fer-carbone 11
- ➢ 4.2. L'aluminium 12
- ➢ 4.3. Étude d'un joint soudé 15

5. ➢ Préparation des pièces à assembler : 16

- ➢ 5.1. Préparation des bords et des surfaces avant soudage 16
- ➢ 5.2. Le chanfreinage 16
- ➢ 5.3. Oxycoupage manuel 19

6. ➢ Les assemblages thermiques : 23

- ➢ 6.1. Différents procédés de soudage 23
  - 6.1.1. Soudage à la flamme au chalumeau oxyacéthylénique 24
  - 6.1.2. Soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées 28
  - 6.1.3. Soudage à l'arc sous atmosphère contrôlée (Procédés M.I.G, M.A.G, fil fourré) 44
  - 6.1.4. Soudage à l'arc sous atmosphère inerte (Procédé T.I.G.) 54
  - 6.1.5. Soudage par arc submergé 61
- ➢ 6.2. Les supports en céramique 66
- ➢ 6.3. Identification des bouteilles de gaz 67

7. ➢ Documents de travail : 69

- ➢ 7.1. Gamme de soudage 69
- ➢ 7.2. Modèle normalisé d'un Descriptif de Mode Opératoire de Soudage (DMOS) 75
- ➢ 7.3. Application du DMOS 76

Sommaire

8. ➢ La Qualification d'un Mode Opératoire de Soudage (QMOS) : 79

➢ Présentation du document officiel Q.M.O.S. rédigé par une entreprise.

9. ➢ Le contrôle en soudage d'après les normes : 99

➢ 9.1. Définitions des trois temps de contrôle (Avant, pendant et après soudage) 101
➢ 9.2. Types de défauts en soudage 102
➢ 9.3. Tableau des défauts, causes et remèdes 104

10. ➢ Les essais de soudage : 106

➢ 10.1. Essais non destructifs 106
➢ 10.2. Essais destructifs 109
➢ 10.3. Essais semi-destructifs 111

11. ➢ Codification et représentation normalisées des soudures : 112

➢ 11.1. Représentation symbolique des soudures 112
➢ 11.2. Position des symboles 115
➢ 11.3. Cotation des soudures 118

12. ➢ Les différents procédés de rechargement des pièces : 122

➢ 12.1. Procédé à froid 122
➢ 12.2. Procédé à chaud 123
➢ 12.3. Projection à chaud et fusion simultanée 125
➢ 12.4. Plasma à Arc Transféré P.T.A. (Plasma Transfered Arc) 126

13. ➢ Prévention des Risques Professionnels (P.R.P.) 127

14. ➢ Lexique du soudage 131

15. ➢ Annexes 139

➢ Bibliographie :

➢ Mémotech Structures Métalliques
➢ Documentation constructeurs

1. LE MÉTIER DE SOUDEUR

Le soudeur peut être appelé pour deux types d'intervention :

1. Les travaux neufs.
2. Les travaux de réparation ou d'entretien.

1.1. LES TRAVAUX NEUFS

Les travaux de soudure pourront être réalisés sur des :

– appareils chaudronnés (ensembles constitués d'éléments métalliques préalablement mis en forme), en acier ordinaire ou inoxydable.

– ensembles mécano-soudés, en acier non allié ou inoxydable.

La réalisation des assemblages peut se faire sur tôle ou sur tube, avec ou sans support, selon les normes en vigueur, la classe de qualité retenue et les précisions définies dans le cahier de soudage.

1.2. LES TRAVAUX DE RÉPARATION OU D'ENTRETIEN.

Les organes des machines, des installations de guidage ou de convoyage peuvent se rompre par suite de fatigue thermique et/ou mécanique.
Dans la plupart des cas les pièces à réparer sont souillées de matières grasses (huile, graisse) ou de matières avec lesquelles elles ont été en contact.
La contrainte qui a provoqué la rupture peut avoir engendré plusieurs fissures ou micro-fissures au voisinage. Ces fissures peuvent être internes ou externes.
Les parties à assembler doivent être exemptes de toutes souillures.

Le soudeur devra donc :

– Dégraisser en utilisant un solvant approprié (trichloréthylène, acétone…).

– Décaper par meulage ou sablage.

– Rechercher les éventuelles micro-fissures par les techniques du ressuage ou magnétoscopie voire par radiographie ou ultrasons dans le cas où il doit réaliser un assemblage de haute sécurité.

2. COMPÉTENCES PROFESSIONNELLES DU SOUDEUR

CAPACITÉS

Les capacités attendues du soudeur sont les suivantes :

1) S'informer – analyser

- Décoder les dessins et les schémas.
- Identifier et vérifier les éléments.
- Décoder et analyser les données opératoires.

2) Traiter – décider

- Établir une gamme de fabrication d'éléments simples.
- Établir une gamme de montage d'éléments simples.
- Établir une gamme de soudage (ordre et position des points d'accrochage).

Compétences professionnelles du soudeur

CAPACITÉS (Suite)

3) Organiser – réaliser

- **Organiser et préparer le poste de travail**
- **Réaliser :**

– un élément simple,

– un assemblage soudé de type qualification,

– des opérations connexes au soudage,

– en atelier, le montage et l'assemblage par soudage d'un ouvrage, ou d'une partie d'ouvrage,

– sur chantier, le montage et l'assemblage par soudage d'un ouvrage ou d'une partie d'ouvrage.

4) Maintenir en état

- Assurer la maintenance des matériels de soudage

Les connaissances associées aux compétences font partie intégrante du professionnel soudeur. Elles doivent permettre de :

– Identifier les caractéristiques d'un assemblage,

– Choisir les moyens de fabrication,

– Déterminer l'ordre de montage et d'assemblage,

– Établir une gamme de fabrication ou de soudage,

– Déterminer visuellement la qualité d'un joint,

– Citer les causes des défauts constatés,

– Proposer des remèdes,

– Définir les moyens de prévention des risques professionnels.

3. RÉFÉRENCES DE NORMES UTILISÉES EN SOUDAGE *

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES NORMES

La normalisation joue un rôle important dans les travaux de soudage. Il faudra donc s'y référer chaque fois que le besoin s'en fera sentir au point de vue technologique, mise en œuvre et prévention des risques professionnels (individuelle, collective et environnementale).
Les normes représentent également une aide précieuse pour les agents de bureaux d'études et de méthodes chargés d'organiser les opérations à exécuter et de choisir les procédés et matériels les plus adaptés aux travaux à exécuter.

Références	Intitulés	Observations
NF EN 287-1 *(NF A88-110)*	Épreuves de qualification des soudeurs	Soudage par fusion *Partie 1* : acier
NF EN 287-2 *(NF A88 110)*	Épreuves de qualification des soudeurs	Soudage par fusion *Partie 2* : aluminium et ses alliages
NF EN 288-1 *(NF A89-010)*	Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les métaux	*Partie 1* : règles générales pour le soudage par fusion
NF EN 288-2 *(NFA89-010)*	idem	*Partie 2* : descriptif d'un mode opératoire de soudage pour le soudage à l'arc
NF EN 288-5	idem	*Partie 5* : qualification par utilisation de produits consommables de soudage agréés pour le soudage à l'arc
NF EN 288-6	idem	*Partie 6* : qualification par l'expérience acquise
NF EN 288-7	idem	*Partie 7* : qualification par référence à un mode opératoire de soudage standard pour le soudage à l'arc
NF EN 288-8	idem	*Partie 8* : épreuve de qualification par exécution d'un assemblage soudé particulier préalable à la production
NF EN 24063 *(NF E04-021)*	Soudage, brasage fort, brasage tendre et soudobrasage des métaux	Liste des procédés et des numérotations pour la représentation symbolique sur des dessins
NF EN 22553 *(NF E04-20)*	Joints soudés et brasés	Représentation symbolique sur les dessins
NF EN ISO 6947 *(NF A88-110)*	Soudures — Positions de travail	Définition des angles d'inclinaison et de rotation
NF EN ISO 6520-1	Classification des défauts	Classification des défauts géométriques dans les soudures des matériaux métalliques
NF EN 25817 *(ISO 5817)*	Guide des niveaux d'acceptation des défauts	Assemblages soudés à l'arc

RÉFÉRENCES DE NORMES UTILISÉES EN SOUDAGE

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES NORMES (Suite)

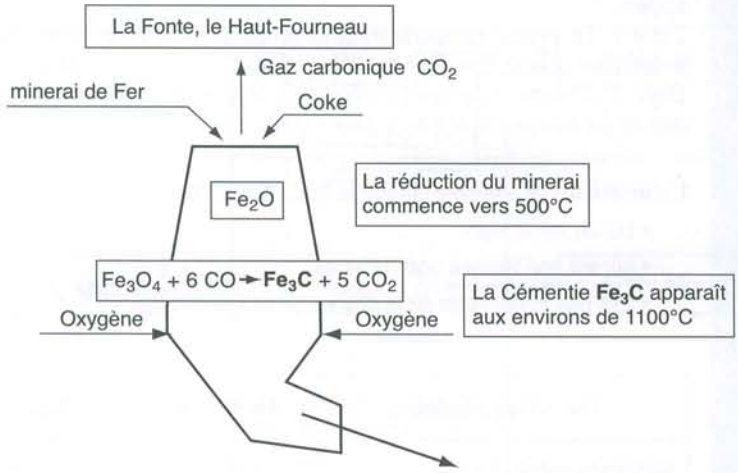
Références	Intitulés	Observations
NF EN 571-1	Essais non destructifs	Examen par ressuage Principes généraux
NF EN 1435	Contrôle non destructif des assemblages soudés	Contrôle par radiographie des assemblages soudés
NF EN 910 *(NF A89-203)*	Essais destructifs des soudures sur matériaux métalliques	Essais de pliage
NF EN 1320	Essais destructifs des soudures sur matériaux métalliques	Essais de texture
NF EN 1321	Essais destructifs des soudures sur matériaux métalliques	Essais macroscopiques et microscopiques des assemblages soudés
NF EN 499 *(NF A81-309)*	Produits consommables pour le soudage	Électrodes enrobées pour le soudage manuel à l'arc des aciers non alliés et des aciers à grain fin
NF EN 757 *(NF A81-341)*	Produits consommables pour le soudage	Électrodes enrobées pour le soudage manuel à l'arc des aciers à haute résistance
NF EN 1600 *(NF A81-343)*	Produits consommables pour le soudage	Électrodes enrobées pour le soudage manuel à l'arc des aciers inoxydables et résistant aux températures élevées
NF EN 440	Produits consommables pour le soudage	Fils électrodes, fils d'apport et baguettes d'apport pour le soudage à l'arc sous gaz des aciers non alliés et des aciers à grain fin
NF EN 12072	Produits consommables pour le soudage	Fils électrodes, fils d'apport et baguettes d'apport pour le soudage à l'arc des aciers inoxydables et des aciers résistant aux températures élevées
NF EN 758	Produits consommables pour le soudage	Fils fourrés pour le soudage à l'arc avec ou sans protection gazeuse des aciers non alliés et à grain fin
NF EN 169	Protection individuelle de l'œil	Filtres pour le soudage et les techniques connexes. Spécifications de transmission et utilisation recommandée
NF EN 439	Produits consommables pour le soudage	Gaz de protection pour le soudage et le coupage à l'arc

* Liste non exhaustive

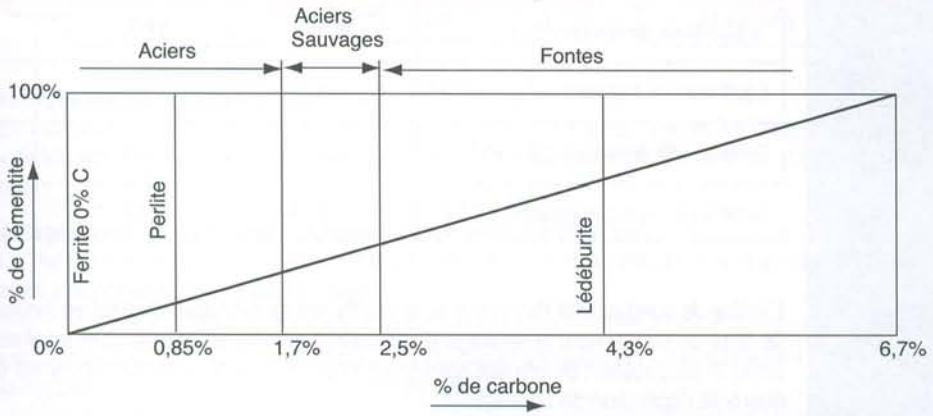
4. LA MÉTALLURGIE

4.1. LES ALLIAGES FER-CARBONE

OBTENTION DES FONTES



TYPES D'ALLIAGE FER-CARBONE



SOUDABILITÉ DES FONTES ET ACIERS

– Les aciers contiennent entre 0,1 % et 1,7 % de carbone. Leur dureté augmente et leur soudabilité diminue avec l'accroissement de pourcentage de carbone.

– Entre 1,7 % et 2,5 % de carbone, l'alliage présente un comportement incompatible avec les utilisations industrielles. Il est dit **Acier Sauvage**.

– Les fontes utilisées comme telles se situent entre 2,5 % et 4,5 % de carbone ; on en distingue trois types :

1) Les **fontes blanches**, (blanc brillant de la cémentite) sont pratiquement **insoudables** et utilisées en fonderie.

2) Les **fontes grises** : le carbone y est regroupé sous forme de lamelles de graphite qui constituent autant d'amorces à la rupture et rendent l'alliage fragile. Elles sont également utilisées en fonderie. Elles sont **soudables** avec beaucoup de précautions. Un goujonnage améliore la solidité de l'assemblage.

3) Les **fontes à graphite sphéroïdal** : le graphite a la forme de petites sphères qui augmentent sensiblement l'allongement en pourcentage du métal. Elles ont les **mêmes caractéristiques de soudabilité que les fontes grises.**

– Au delà de 4,5 % de carbone les fontes sont destinées à l'affinage pour diminuer le pourcentage de carbone et certaines impuretés et obtenir de l'acier.

4.2. L'ALUMINIUM

ÉLABORATION

L'aluminium est fabriqué à partir de minerai appelé bauxite. Le traitement s'effectue en deux étapes :

Étape 1 : Le minerai comporte d'autres constituants et oxydes métalliques qu'il faut séparer chimiquement pour obtenir l'oxyde d'aluminium.

Étape 2 : L'oxyde d'aluminium mélangé à de la cryolithe est ensuite traité par électrolyse pour obtenir un aluminium de très grande pureté.

CARACTÉRISTIQUES ET PARTICULARITÉS

L'aluminium, de symbole chimique **Al** et de symbole métallurgique abrégé **A :**

- est un métal léger,
- qui est non toxique pour la santé,
- très bon conducteur de la chaleur et de l'électricité.

Propriétés physiques	Aluminium	Acier	Cuivre
Masse volumique (g/cm^3)	2,7	7,8	8,9
Température de fusion (°C)	658	1535	1083
Coefficient de dilatation linéique (x10-^{6})	24	12	16,5
Conductivité thermique (W /m°C)	220	46	385
Résistivité électrique (µΩcm) à 20°C	2,75	11	1,7

L'indice de conductivité thermique et le coefficient de dilatation mettent en évidence la nécessité de mise en œuvre pour le soudage d'une source de chaleur puissante et localisée, de manière à éviter la propagation de chaleur dans toute la pièce à souder et limiter ainsi les déformations au cours de l'opération de soudage.

L'aluminium se recouvre naturellement d'une couche d'alumine (oxyde d'aluminium*) qui se reforme spontanément à l'air même après usinage ou grattage. Le décapage de cette pellicule se fera donc juste avant le soudage.

L'aluminium ne change pas de couleur pendant sa fusion et demande donc une certaine habitude pour la conduite du bain de fusion.

*Température de fusion > 2000°C

NUANCES DES ALUMINIUMS

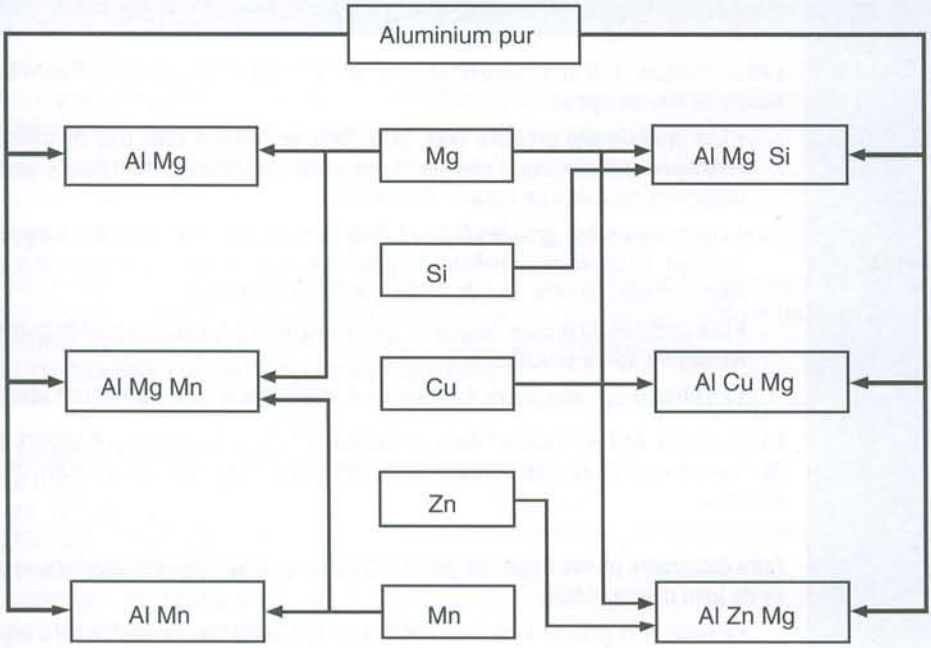
L'aluminium est utilisé dans différentes nuances :

- **Aluminium extra pur** (raffiné, électrolyse),
- **Aluminium pur** (de première fusion),
- **Alliages d'aluminium.**

Il donne lieu à des modes de transformations différents :

- **Alliages d'aluminium corroyés** (laminage, étirage, matriçage, forgeage...),
- **Alliages d'aluminium moulés.**

ALLIAGES D'ALUMINIUM



Alliages sans durcissement structural
En l'absence de durcissement structural comme pour l'aluminium pur et les alliages « Al Mg », « Al Mg Mn », « Al Mn », seul l'écrouissage mécanique permet d'améliorer la résistance du matériau.

Alliages avec durcissement structural (alliage au cuivre tel le duralumin)
Ce durcissement structural permet d'augmenter nettement la résistance mécanique du produit sans altérer ses aptitudes au formage

DÉSIGNATIONS ET NORMES

Les aluminiums et alliages sont classés en groupes et désignés par un nombre de 4 chiffres dans la norme **NF EN 573-1**

Groupe	Alliage	Groupe	Alliage
1	Aluminium (mini 99,00 %)	6	Aluminium-Magnésium-Silicium
2	Aluminium-Cuivre	7	Aluminium-Zinc
3	Aluminium-Manganèse	8	Autres alliages d'aluminium
4	Aluminium-Silicium	9	Non affecté
5	Aluminium-Magnésium	10	Non affecté

Le **premier chiffre** de la désignation indique le groupe auquel appartient l'aluminium ou l'alliage. Le **second chiffre** indique pour le groupe 1 des variantes où certaines impuretés sont à teneur contrôlée. Pour les autres groupes, il précise les modifications successives de l'alliage (voir norme). Le **troisième et le quatrième** chiffre indiquent pour le groupe 1, le pourcentage en aluminium au-delà de 99,00 %.

Par exemple : **1080** pour un **Al** à 99,80 % (A8)
5086 pour un **Al-Mg** (A-G4MC)

SOUDABILITÉ

Pour les autres groupes, ils servent uniquement de numéro d'ordre.

Les aluminiums et alliages présentent des aptitudes au soudage plus ou moins bonnes suivant la nature de leur composition.

- Les produits des groupes 1xxx, 3xxx, 5xxx se soudent sans trop de difficultés ; les caractéristiques mécaniques et chimiques des joints sont sensiblement égales aux caractéristiques minimales du métal de base à l'état recuit.
- Les produits des groupes 2xxx et 7xxx ne sont pas recommandés dans les constructions soudées, le soudage entraînant la précipitation d'oxydes entre les grains créant ainsi des micro-criques génératrices de criques au refroidissement.
- Les produits du groupe 6xxx sont soudables mais perdent une grande partie de leurs caractéristiques après soudage.
- La plupart des alliages de fonderie sont soudables à l'arc, sauf pour l'alliage A-U5GT.

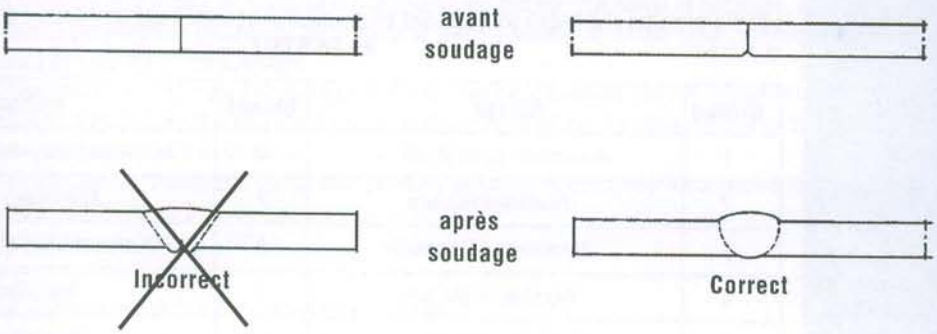
La norme NF A81-410 définit dans un tableau le choix des métaux d'apport pour le soudage de l'aluminium et de ses alliages avec des indications sur les caractéristiques des joints obtenus.

PRÉCAUTIONS POUR LA PRÉPARATION DES BORDS

Faire disparaître toutes traces de graisse, d'huile ou d'humidité susceptibles de souiller la surface du joint d'assemblage.

- L'huile et la graisse seront enlevées avec des solvants, l'humidité sera essuyée et la pièce légèrement chauffée avant soudage.
- La couche d'alumine sera enlevée juste avant soudage par brossage ou grattage.

La préparation des bords (conception des joints et chanfreinage) est définie dans la norme NF A87-010.
Pour éviter les défauts de pénétration du type « paire de fesses » dus à la présence d'alumine, il faut supprimer l'arête vive (sur l'envers) par simple grattage ou usinage.



LES GAZ DE PROTECTION

Le choix de la protection gazeuse est établi en fonction du procédé de soudage utilisé et de l'intensité du courant.
Deux gaz sont exclusivement utilisés purs ou mélangés, ce qui offre trois possibilités :

- **ARGON**
- **HÉLIUM**
- Mélange **ARGON/HÉLIUM**

4.3. ÉTUDE D'UN JOINT SOUDÉ

GÉNÉRALITÉS

Le soudage est une opération d'assemblage où la continuité métallique entre les parties à souder est réalisée en portant les métaux à la température de fusion, par l'intermédiaire d'une source d'énergie.

Exemple : arc électrique sous atmosphère gazeuse contrôlée.

STRUCTURE D'UNE SOUDURE

L'opération de soudage est assimilable à une opération locale d'élaboration métallurgique.

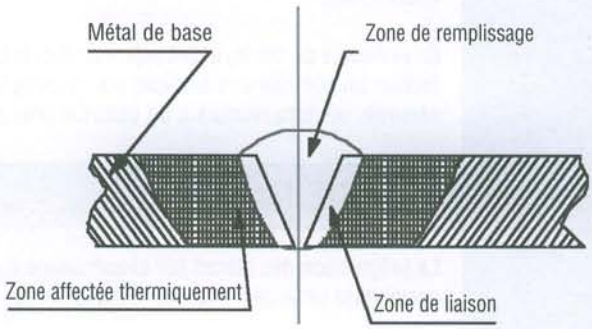
L'effet local du cycle thermique (fusion des métaux de base et d'apport) provoque une modification de la structure cristalline qui dépend à la fois de la composition chimique (pourcentage de carbone, de chrome, de silicium,...) et de la vitesse de refroidissement.
La soudure ainsi réalisée comporte plusieurs zones.

• La zone du métal de base,
Le métal n'a pas été porté à une température suffisante pour subir une quelconque transformation de structure.
L'opération de soudage n'a *aucune conséquence métallurgique* sur cette zone.

• La zone affectée thermiquement
ZAT, (T° > Ac3) se trouve en bordure de la zone fondue, sur une largeur plus ou moins importante. La ZAT a été soumise à l'élévation de température sans être portée à fusion. La vitesse de refroidissement conditionne la structure cristalline de cette zone.

• Zones fondues
– La zone de liaison
Partie du métal de base participant à la réalisation du joint. Son volume détermine le taux de dilution.

– La zone fondue
Zone de remplissage dont la section dépend directement de la nature du chanfrein et de l'épaisseur à souder.



5. PRÉPARATION DES PIÈCES À ASSEMBLER

5.1. PRÉPARATION DES BORDS ET DES SURFACES AVANT SOUDAGE

PRÉPARATION DES BORDS ET DES SURFACES

Les pièces peuvent être réalisées à partir de métaux ou alliages laminés, étirés, forgés, matricés, coulés. L'aspect de leur surface pourra être différent si elles sont brutes d'élaboration ou usinées.

Dans le premier cas, on notera la présence d'oxydes, dans le deuxième cas, ces pièces pourront être imprégnées d'huile. D'autre part, s'il s'agit de pièces ayant déjà travaillé, leurs surfaces pourront être souillées ou attaquées par les produits avec lesquels elles entrent en contact.

Certaines de ces pièces pourront mettre en relief des fissures de fatigue thermique ou mécanique. Tous les résidus et les fissures doivent être éliminés avant soudage.

Pour mieux comprendre cette nécessité, il faut savoir que les oxydes, les graisses, les résidus se trouveraient emprisonnés dans le bain de fusion au moment de l'opération de soudage. Toutes ces impuretés conduiraient à la présence de porosités, d'inclusions, de microfissures, bien souvent incompatibles et compromettant la résistance de la soudure.

En ce qui concerne le présence de fissures avant soudage, il faut considérer qu'elles pourraient se développer pendant l'opération d'assemblage ou de rechargement sous l'effet du cycle thermique et des contraintes mécaniques qui en résultent.

En résumé, la qualité du joint soudé est tributaire du soin apporté à la préparation du joint et à la préparation des surfaces. Nous avons souligné l'importance de la préparation des surfaces : celle-ci peut être réalisée par corindonnage, meulage, usinage à l'outil, électrode à chanfreiner.

En présence de pièces ayant déjà travaillé, avant toute opération de soudage il est nécessaire d'effectuer un contrôle des surfaces par ressuage. Dans certains cas, pour des assemblages de haute sécurité, on aura recours à un contrôle plus poussé : radiographies, ultrasons.

5.2. LE CHANFREINAGE

GÉNÉRALITES

La préparation des pièces par chanfreinage a pour but d'améliorer la résistance du joint soudé en permettant un accès total sur l'épaisseur de la pièce à assembler.

La forme du chanfrein, sa section et son angle d'ouverture dépendent de plusieurs facteurs :

- la nature du matériau,
- son épaisseur,
- l'accessibilité du joint (sur une ou deux faces),
- la classe de qualité de l'assemblage,
- le procédé d'assemblage utilisé,
- la position de soudage,
- la rentabilité section/dépôt,
- les moyens mis à disposition.

Préparation des pièces à assembler

TYPES DE CHANFREINS

En **Vé**

En **X**

En **K**

En **Y**

En calice ou tulipe

MOYENS UTILISÉS

Les moyens de chanfreinage sont divers et peuvent changer suivant que l'opération a lieu en atelier ou au chantier.

- **Manuellement par :**
  - meulage,
  - oxycoupage, meulage.

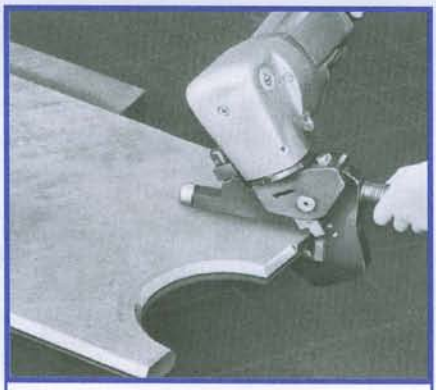
- **Avec machines portatives, dont les plus utilisées sont :**

– chanfreineuse par burinage (pour tôles ou tubes),
– chanfreineuse orbitale (pour tubes),
– chanfreineuse à molettes (cisaillage à molettes),
– chanfreineuse à fraises (type fraisage),
– chariot automatique d'oxycoupage (« kiki »).

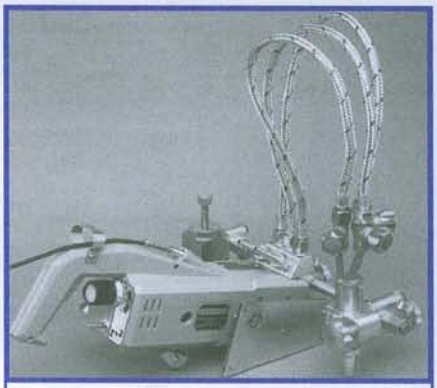
- **Par machines d'usinage industriel**

– raboteuse,
– fraiseuse,
– tour,
– aléseuse,
– centre d'usinage.

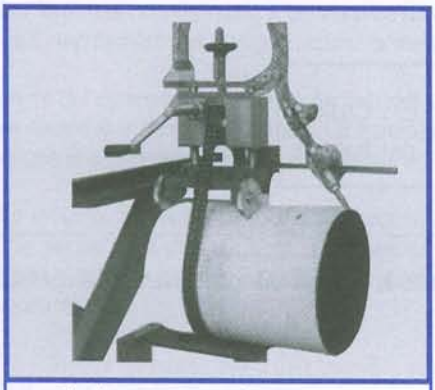
MACHINES DE CHAN-FREINAGE



Machine de chanfreinage
par burinage
(marque TRUMMF)

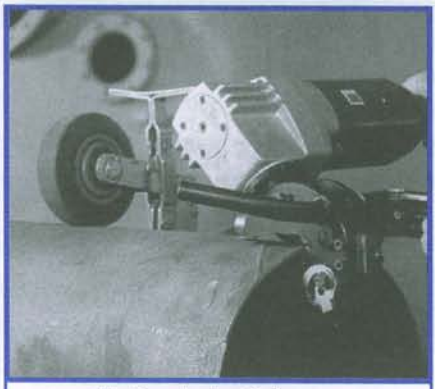


Chariot automoteur d'oxycoupage
à tête inclinable
(Marque SAUVAGEAU)



Chariot automoteur d'oxycoupage
à tête inclinable
(Marque S A F)

Machine de chanfreinage orbital
Rabotage circulaire
(marque PROTEM)



Machine de chanfreinage
par burinage adaptation pour tubes
(marque TRUMMF)

5.3. OXYCOUPAGE MANUEL

PRINCIPE

Le terme d'oxycoupage désigne l'opération de découpage de l'acier au moyen de chalumeaux alimentés par de l'oxygène pur et un gaz combustible (propane, acétylène...).

La composition chimique du métal des pièces à découper joue un rôle important dans la mise en œuvre pratique de l'oxycoupage.

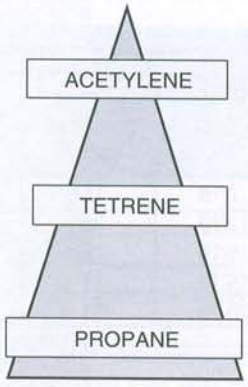
REMARQUE

- Au-delà de 5 % de chrome, il est préférable de faire appel à un autre moyen de découpage.
- L'aluminium n'est pas oxycoupable, employer un autre moyen de découpage tel que le plasma.

LA FLAMME DE CHAUFFE

La flamme de chauffe est destinée à porter le point d'amorçage à température d'ignition du fer (1300°C) et à maintenir cette température sur l'arête de la saignée, pendant le temps de l'oxycoupage.

Puissance spécifique pratique des gaz les plus utilisés



3050°C 9kW/cm^2

2940°C 6kW/cm^2

2830°C 4,5kW/cm^2

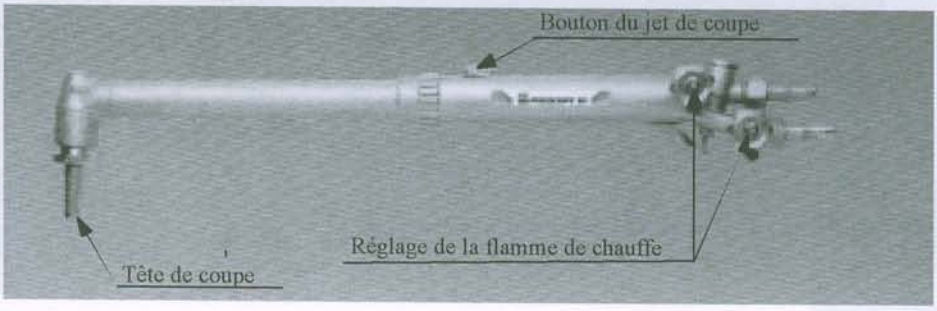
LE JET D'OXYGÈNE DE COUPE

Il permet de réaliser la combustion du métal en créant une saignée étroite
(Expérience de Lavoisier : le fer brûle dans l'O_2)

CONDITIONS D'OXYCOUPAGE

Trois conditions sont nécessaires pour qu'un matériau soit « oxycoupable ».
1. que la température d'amorçage ou d'ignition soit inférieure à la température de fusion du métal
2. que la réaction d'oxydation soit exothermique (elle dégage de la chaleur).
3. que les oxydes formés par la réaction d'oxydation soient liquides.

MATÉRIEL



Préparation des pièces à assembler

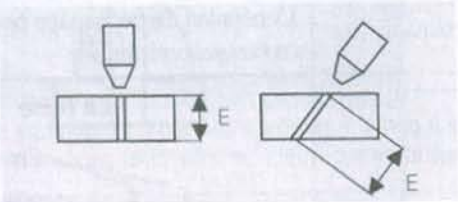
MATÉRIEL (Suite)

Le chalumeau coupeur comporte les mêmes organes que le chalumeau soudeur, mais il possède en plus un circuit spécial pour l'oxygène de coupe.

Tête de coupe : c'est la partie la plus importante. La tête de coupe comporte des canaux disposés en étoile pour l'oxygène de chauffe et un orifice central pour l'oxygène de coupe.

Une tête de coupe est définie par un chiffre qui correspond au diamètre de l'orifice de coupe (7/10, 15/10...).

Le choix s'effectue en fonction de l'épaisseur à couper E (pour un calibre de 15/10, la plage approximative de coupe est de 15 à 40 mm)



BARÈME D'OXYCOUPAGE (flamme oxyacétylénique)						
Épaisseur tôle (mm)	Buse (mm)	Vitesse d'avance (m/h)	Distance dard-tôle (mm)	Pression Oxy de coupe (bar)	Pression Oxy de chauffe (bar)	Pression Acétylène (bar)
8	7/10	25	1,5	2	1,5	0,15
12	12/10	22	1,5	2,4	1,5	0,15
20	15/10	22.	2	2,3	1,5	0,15
30	15/10	18	2	3	1,5	0,20
50	20/10	15	2,5	3,1	1,5	0,15

TENUE DU CHALUMEAU

En général le chalumeau sera tenu perpendiculairement à la tôle, l'opérateur aura les genoux déverrouillés et légèrement écartés.

Préparation des pièces à assembler

La qualité des coupes est largement influencée par la vitesse d'avance du chalumeau et par le guidage de celui-ci.

GUIDAGE DES CHALUMEAUX

AVEC UNE RÈGLE

Guide rectiligne

AVEC UN COMPAS

Guide pour coupe circulaire

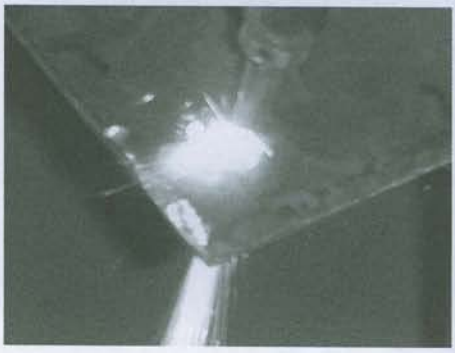
SANS GUIDAGE

Pour assurer un coupage manuel de courte longueur, l'opérateur assurera son équilibre par appui sur un coude.

Préparation des pièces à assembler

AMORÇAGE

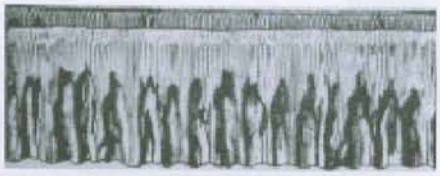
L'amorçage consiste à porter le métal à température d'ignition du fer à l'endroit où l'on doit commencer la coupe.
L'amorçage en pleine tôle est difficile et doit être en principe évité.
Toutefois si on l'entreprend, il faut chauffer le métal (couleur rouge 1000°C) avec une position du dard correcte par rapport à la pièce métallique et un chalumeau bien réglé ; on doit voir apparaître une flamme étoilée.
Au moment de l'ouverture du jet de coupe, incliner légèrement le chalumeau pour éviter que l'oxyde ne soit projeté sur la tête de coupe.
Cette méthode n'est utilisable que pour des épaisseurs inférieures à 20 mm ; au delà percer un trou.



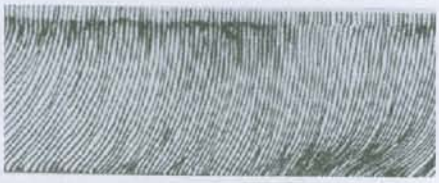
VITESSE D'AVANCE ET HAUTEUR DE LA BUSE

Pour que la coupe soit propre, la vitesse d'avance devra être régulière. La forme des stries de découpe indique si la vitesse d'avance est excessive ou pas. Par expérience, un bon opérateur contrôle au bruit sa vitesse de coupe.
La hauteur doit être constante et assurer l'opération de chauffe dans la zone neutre de la flamme O.A.

DÉFAUTS OXYCOUPAGE MANUEL



Vitesse d'avance trop faible, fusion de l'arête, grosses ondulations irrégulières à la partie inférieure de la saignée.



Pression d'oxygène de coupe trop basse.
Vitesse d'avance trop grande, arête légèrement fondue, débit d'oxygène insuffisant. Retard trop important.

Représente une coupe à faible valeur de retard. Angles vifs, section lisse, légère couche d'oxyde qui s'enlève toute seule.

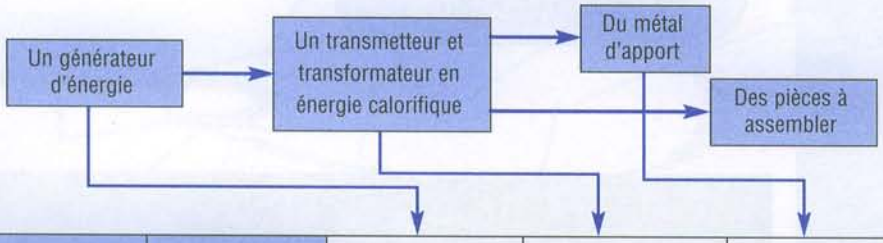
SÉCURITÉ

Il est strictement interdit de graisser les robinets des bouteilles, en particulier d'oxygène, ou les appareils qui s'y ajustent.
Ne jamais transvaser une bouteille d'acétylène dans une autre.
L'opérateur devra porter un tablier de cuir, des lunettes de protection, des gants. La zone de travail ne devra pas être encombrée d'éléments inflammables (huile, graisse).

6. LES ASSEMBLAGES THERMIQUES

6.1. DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE SOUDAGE

Ce chapitre n'évoquera que les procédés d'assemblages thermiques assurant la continuité métallique des pièces à assembler.
Quelle que soit l'installation, elle répond toujours au schéma ci-dessous.


Un générateur d'énergie
Un transmetteur et transformateur en énergie calorifique
Du métal d'apport
Des pièces à assembler

AU GAZ	**OXYACÉTYLÉNIQUE**	Procédé manuel Centrale de détente et de distribution des gaz	Chalumeau soudeur Règle la nature et la puissance de la flamme de chauffe (3 150°C)	Baguettes d'acier de différents diamètres. La flamme protège le bain de fusion
À L'ARC ÉLECTRIQUE	**à l'ÉLECTRODE ENROBÉE**	Procédé manuel Un générateur de courants alternatif, continu ou redressé.	L'arc est créé entre l'électrode et la pièce à souder. (3100°C)	Une âme en acier, enrobée d'une matière assurant la protection du bain de fusion et une action physico-métallurgique
	M.I. G. *Métal Inert Gaz* **M. A. G.** *Métal Actif Gaz*	Semi-automatisé Un générateur de courant continu ou redressé	L'arc est créé entre le fil de métal d'apport, en bobine et la pièce à souder. (3100°C)	Métal d'apport de même nature que les pièces. Le bain de fusion est protégé par un gaz
	FIL FOURRÉ	Semi-automatisé. Un générateur de courant continu ou redressé	L'arc est créé entre le fil de métal d'apport, en bobine, et la pièce à souder. (3100°C)	Fil métal d'apport de section tubulaire, fourré d'éléments additifs en poudre. Deux types d'utilisation possible avec ou sans gaz de protection
	T. I. G. *Tungstène Inert Gaz*	Procédé manuel rarement automatisé. Un générateur de courant alternatif, continu ou redressé	L'arc est créé entre une électrode en tungstène et la pièce à souder. (3100°C)	Métal d'apport de la même nature que les pièces. Le bain de fusion est protégé par un gaz
	ARC SUBMERGÉ ou SOUS FLUX SOLIDE	Procédé automatisé. Un générateur de courant continu ou alternatif.	L'arc est créé entre le fil métal d'apport, en bobine, et la pièce à souder (3100°C)	Métal d'apport de la même nature que les pièces. Le bain de fusion est protégé par un flux en poudre

6.1.1. SOUDAGE À LA FLAMME AU CHALUMEAU OXYACÉTYLÉNIQUE

Soudage OXYACÉTYLÉNIQUE

Procédé No. **311**

D'après la Norme **NF EN 24063**

Dans le soudage à la flamme, la fusion des bords à souder est obtenue par le dégagement de chaleur provoqué par la combustion dans l'oxygène d'un gaz combustible.

Dans le cas présent les gaz sont :

- ***le comburant*** ⟶ L'OXYGÈNE
- ***le combustible*** ⟶ L'ACÉTYLÈNE

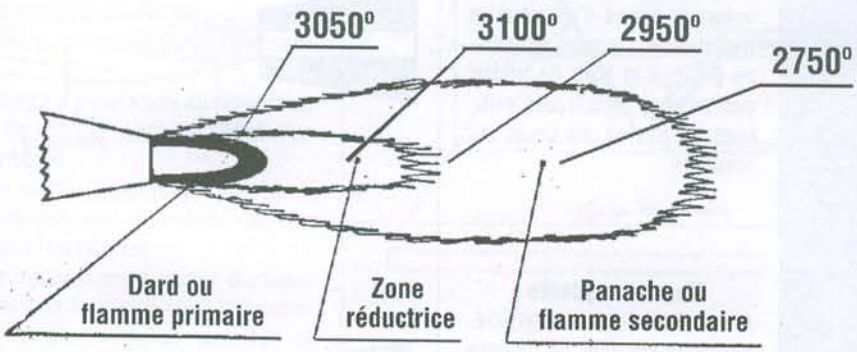
PRINCIPE DU PROCÉDÉ

La flamme oxyacétylénique atteint une température supérieure à 3 000° ce qui permet le soudage de pratiquement tous les métaux et alliages courants. Elle possède une zone réductrice (neutre) protégeant le métal en fusion de l'oxydation.

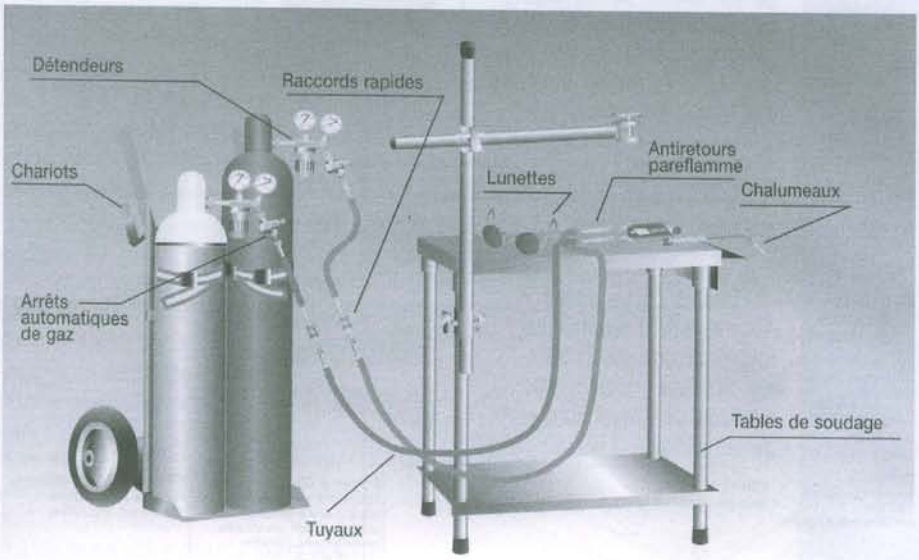
Les assemblages thermiques

PRINCIPE DU PROCÉDÉ

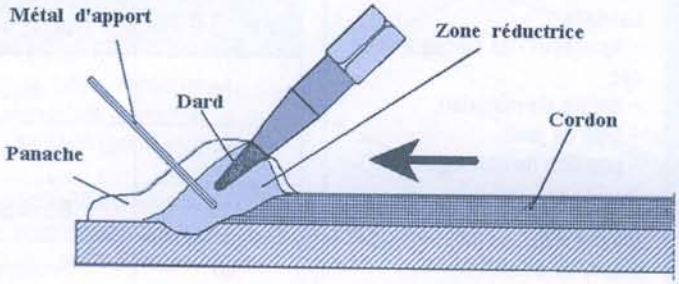
De par sa facilité de mise en œuvre, le procédé trouve son champ d'application sur chantier en particulier pour le soudage de tuyauterie en installation sanitaire et thermique avec possibilité de travail dans toutes les positions.



INSTALLATION DE SOUDAGE « O A »



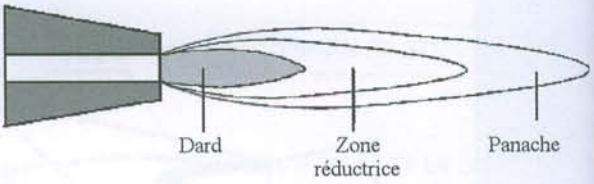
PRINCIPE D'UTILISATION DU PROCÉDÉ



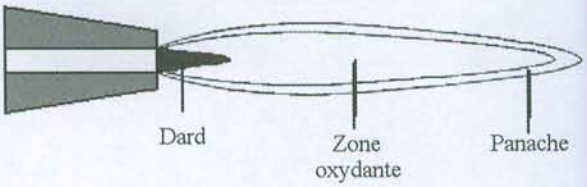
RÉGLAGE DE LA FLAMME « O A »

Flamme réductrice,
dite normale ;

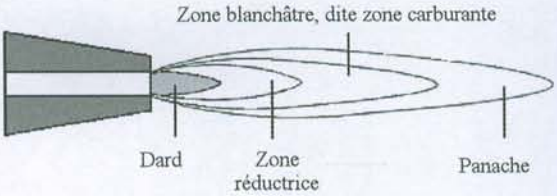
Alimentation de la buse en volumes égaux d'oxygène et d'acétylène. La zone réductrice protège le bain de fusion des oxydes métalliques pouvant se former au cours du soudage.



Flamme oxydante ;
Avec excédent d'oxygène, plus chaude que la flamme normale ; convient au soudage du laiton, de la fonte et au soudo-brasage des aciers galvanisés en créant des oxydes de zinc moins volatiles que le zinc lui même.



Flamme carburante ;
Avec excédent d'acétylène, moins chaude que la flamme normale ; convient au soudage de l'aluminium et de ses alliages



PUISSANCE DE LA FLAMME

Le débit d'acétylène, indiqué sur la buse ou la lance, est donné en litre par heure. Il est défini en fonction des critères suivants :
– épaisseur des pièces à souder,
– nature du matériau,
– type de joint,
– position de soudage.

La valeur du débit étant directement liée à l'épaisseur de la pièce, on obtient donc :
Puissance : l/h/mm

Valeur indicative de puissance par mm d'épaisseur sur acier d'usage courant

Débit l/h pour 1 mm	Type de joint et position
100	Soudage bout à bout, à plat
75	Soudage en angle extérieur, à plat
125	Soudage en angle intérieur, à plat
60	Soudage bout à bout, en montant

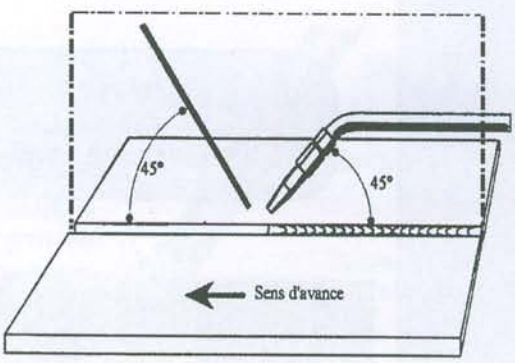
Les assemblages thermiques

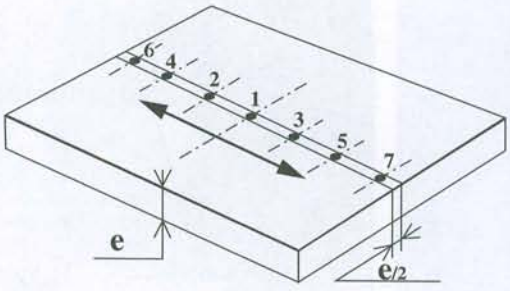
Mode opératoire

GÉNÉRALITÉS

Principe de travail et de positionnement du chalumeau :

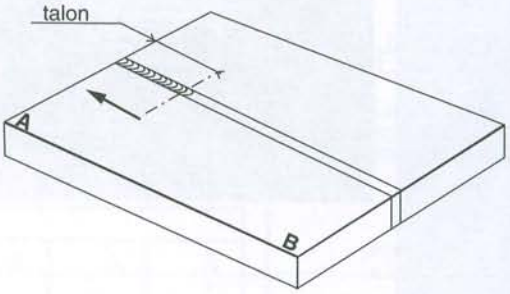
- Le chalumeau et le métal d'apport se déplacent dans le plan bissecteur formé par les deux pièces à assembler.
- L'angle d'inclinaison du chalumeau est de 45° par rapport au joint d'assemblage.
- Le métal d'apport qui précède le chalumeau est incliné de 45° par rapport au cordon.
- Le mouvement d'avance du chalumeau, de la droite vers la gauche, est le plus régulier possible en maintenant le dard de la flamme à 2 mm seulement de la surface de la pièce.
- Pendant les opérations de pointage et de soudage on veillera à ne pas sortir le métal d'apport de la flamme de manière à éviter son oxydation par l'air ambiant.





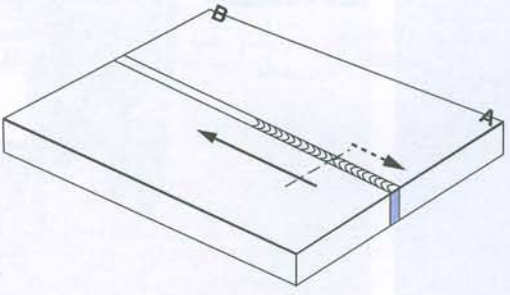
ACCROCHAGE

- Le pointage consiste à réaliser des cordons de soudures de quelques mm de long pour maintenir les pièces en position lors du soudage (éviter les surépaisseurs).
- Maintenir entre les bords un écartement constant sensiblement égal à **e**/2.
- Les points sont exécutés de façon alternative en partant du centre du joint d'assemblage.
- La distance entre chaque point est d'environ 20 à 30 fois l'épaisseur de la pièce à souder.



PRÉCAUTIONS

- Pour éviter la fissuration du cordon de soudure, il est nécessaire de réaliser un talon avant d'effectuer la soudure proprement dite.
- Pour exécuter le talon, démarrer un cordon en pleine tôle à environ 50 mm du bord en se dirigeant vers ce bord.
- Retourner ensuite la tôle pour réaliser la soudure proprement dite, en chevauchant le talon sur 8 à 10 mm.



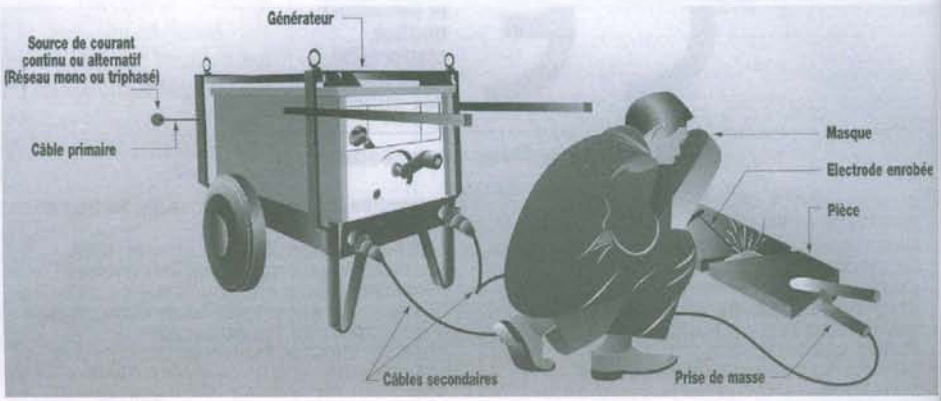
6.1.2. SOUDAGE A L'ARC ÉLECTRIQUE AVEC ÉLECTRODES ENROBÉES

Soudage à l'Arc Électrode Enrobée

Procédé No. **111**

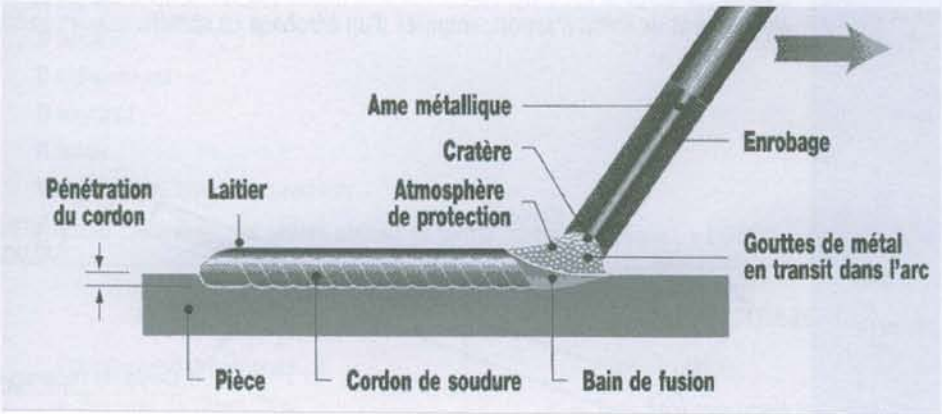
NF EN 24063

COMPOSITION D'UNE INSTALLATION DE SOUDAGE

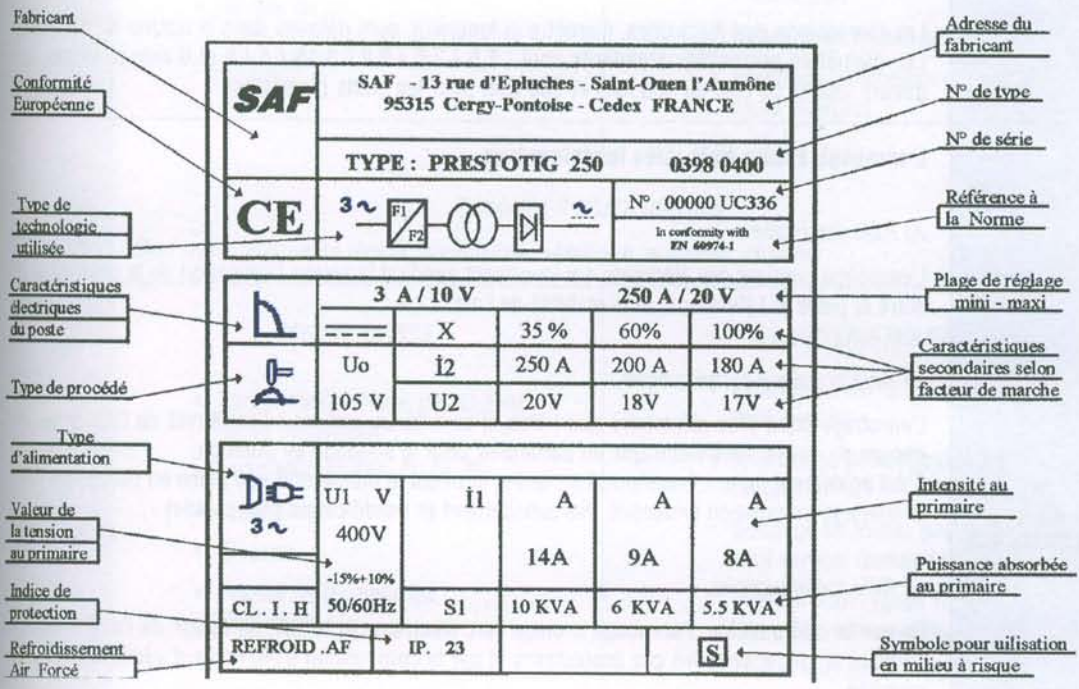


6.1.2.1. INSTALLATION DE SOUDAGE PRINCIPE

PRINCIPE DE TRANSFERT DU MÉTAL



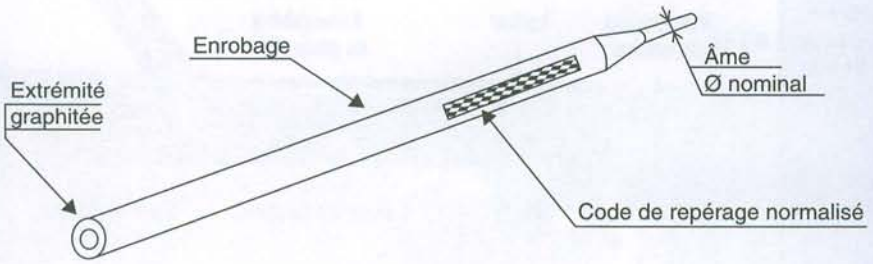
Plaque signalétique d'un poste de soudure



6.1.2.2. LES ÉLECTRODES ENROBÉES

DÉFINITION

L'électrode enrobée est composée d'une âme métallique cylindrique, qui fait office de conducteur électrique et de métal d'apport, entourée d'un enrobage de caractéristiques particulières.



Les dimensions des électrodes, diamètre et longueur, sont définies dans la norme **NF EN 759.**
Les diamètres normalisés standards sont : 1,6 / 2,0 / 2,5 / 3,15 / 4 / 5 et 6 mm pour des longueurs totales de 350 ou 450 mm et 250 mm pour les petits diamètres.

RÔLE DE L'ENROBAGE

L'enrobage assure trois rôles fondamentaux

A) Rôle électrique :

L'enrobage contient des éléments qui favorisent pendant la fusion l'ionisation de la colonne d'arc entre la pièce et l'électrode, et la stabilité de l'arc.

B) Rôle physique et mécanique :

L'enrobage étant plus réfractaire que l'âme, il se crée un cratère à l'extrémité de l'électrode qui permet de diriger l'arc électrique en particulier pour le soudage en position.
C'est également lui qui, transformé en laitier, soutient le métal fondu en place en particulier dans le soudage en position (viscosité, refroidissement et solidification plus rapide).

C) Rôle métallurgique

De par sa composition, l'enrobage protège l'arc électrique et le bain de fusion de l'action de l'air ambiant en dégageant des gaz protecteurs et par la combustion d'éléments d'addition avides en oxygène.
Il protège également, « après sa transformation en laitier », le bain de fusion et le cordon de soudure de l'action de l'air ambiant et en ralentit le refroidissement.
Les éléments en ferro-alliages qu'il contient améliorent les caractéristiques métallurgiques et mécaniques du joint de soudure.
Il améliore éventuellement le rendement du dépôt de métal par l'addition de poudre de fer ou autres métaux (de 115 à 200 % pour les électrodes à haut rendement).

Les assemblages thermiques

Différents types d'enrobages sont actuellement disponibles ; ils sont désignés par leur lettre initiale :

R rutile

B basique

C cellulosique

O oxydant

A acide

V ou **S** autres types ou spéciaux

Pour retenir facilement ces lettres utilisez ce terme mnémotechnique : « COBRA »

ENROBAGE RUTILE

CONSTITUANTS

Principalement composé de

- Bioxyde de titane TiO_2
- Cellulose
- Ferro – alliages FeMn
- Spath fluor
- Silicate de fer

CARACTÉRISTIQUES

- Facile à utiliser
- Tension d'amorçage faible ; Uo ≥ 45 volts --- pôle -
- Fusion douce
- Bonnes caractéristiques mécaniques
- Soudage en toutes positions
- Enrobage généralement semi-épais ou épais

DOMAINES D'UTILISATION

Serrurerie, charpente légère, menuiserie métallique, entretien, chantier

ENROBAGE BASIQUE

CONSTITUANTS

- Carbonate de chaux, de calcium ou de potassium
- Ferro-alliages Mn, Ti, Cr, Si
- Spath fluor
- Silicates
- Poudre de fer pour les électrodes

CARACTÉRISTIQUES

- Excellentes caractéristiques mécaniques
- Très bonne protection du bain de fusion
- Soudage en toutes positions sauf vertical descendant PG
- Tension d'amorçage forte Uo > 60 volts --- pôle -
- Taux d'hydrogène très faible
- Étuvage indispensable

DOMAINES D'UTILISATION

Soudage des aciers au carbone et faiblement alliés, assemblages de haute qualité soumis à des sollicitations mécaniques importantes, structures spatiales, chaudières, construction navale, mécano-soudure.

Les assemblages thermiques

ENROBAGE CELLULOSIQUE

CONSTITUANTS

- Cellulose
- Bioxyde de titane TiO_2
- Silicate
- Ferro-alliages
- Aluminium

CARACTÉRISTIQUES

- Particulièrement réservé au soudage en vertical descendant PG
- Enrobage mince et très volatile qui laisse peu de laitier
- Tension d'amorçage
  Uo ≥ 50 volts --- pôle -
- Bonnes caractéristiques mécaniques
- Demande une intensité légèrement plus forte qu'en rutile

DOMAINES D'UTILISATION

L'enrobage cellulosique est spécialement élaboré pour le soudage en position et plus particulièrement en PG de tôlerie, tuyauterie (pipe line), chantier et serrurerie.
Quand l'esthétique et la finesse du cordon sont nécessaires : ferronnerie, serrurerie, menuiserie métallique

ENROBAGE OXYDANT

CONSTITUANTS

- Oxyde de fer
- Oxyde de Mn, Ti

CARACTÉRISTIQUES

- Uniquement réservé au travail à plat
- Bonne apparence du cordon
- Tension d'amorçage :
  Uo ≥ 45 volts --- pôle -

DOMAINES D'UTILISATION

Réservé aux travaux de tôlerie, serrurerie, il est de moins en moins utilisé.

ENROBAGE ACIDE

CONSTITUANTS

- Oxyde de fer
- Oxyde de Mn
- Mn, Si
- Ferro-alliages

CARACTÉRISTIQUES

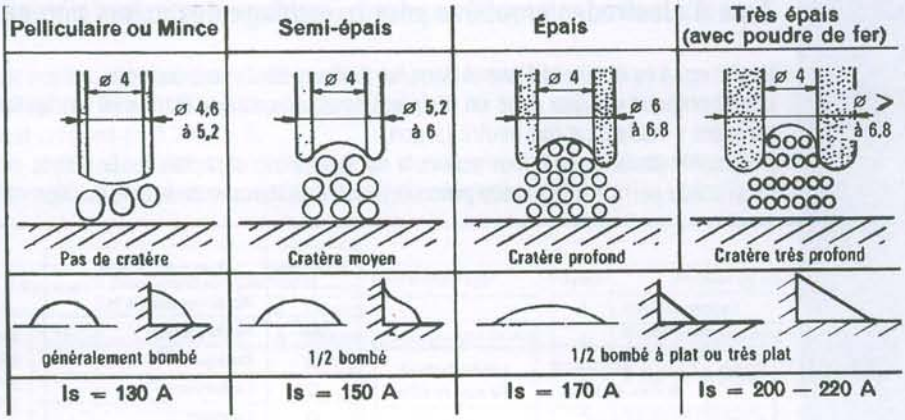
- Très bon rendement 160 à 200 %
- Soudage en « PA » ou « PB »
- Cordon de bel aspect
- Tension d'amorçage
  Uo ≥ 60 volts --- pôle + ou -
- Étuvage nécessaire

DOMAINES D'UTILISATION

Soudage à plat BW, PA et en angle FW, PB, de tôlerie type construction navale et grosse chaudronnerie.
Uniquement sur aciers non alliés ou faiblement alliés.

Les assemblages thermiques

ÉPAISSEUR DE L'ENROBAGE



Is : Intensité de soudage

CRITÈRES DE CHOIX

En fonction du

Matériel de soudage

- Nature du courant fourni par le générateur
- Alternatif
- Continu ou redressé
- Tension d'amorçage Uo
- Plage d'intensité mini et maxi

Matériaux à souder

- La nature du métal à souder allié ou non-allié
- La position de soudage
- L'épaisseur de la pièce à souder
- Le type de joint
- La qualité de l'assemblage à réaliser : degré d'exigence imposé par le cahier de soudage B, C ou D voir norme NF EN 25817

CONDITIONS GÉNÉRALES D'UTILISATION

Pointage d'accrochage

- Un point doit être identique à un cordon de petite longueur
- Bien pénétrer
- Éviter les surépaisseurs
- Travailler en surintensité
- Avec un diamètre d'électrode plus petit que pour le soudage

Soudage

- Le diamètre de l'électrode dépend généralement de l'épaisseur de la pièce à souder
- Pour les fortes épaisseurs ne pas utiliser de diamètres trop importants qui pourraient provoquer des surchauffes et des déformations

CONSERVATION, ÉTUVAGE

Les électrodes doivent être stockées à l'abri de l'humidité, en armoire de conservation chauffée à ≈ 40° C.

Avant utilisation, les électrodes et tout particulièrement celles avec enrobage basique, doivent subir un étuvage : 250 à 300° pendant 1 à 2 heures.

Puis maintien à ≈ 100°

Dans tous les cas se référer aux prescriptions du fournisseur : fiche produit ou indications sur l'étui d'emballage, informations portées sur le DMOS.

QUALITÉ DE L'ACIER

Type d'électrodes enrobées pour le soudage des aciers non-alliés

L'acier est très finement élaboré dans les stations de mise à nuance.
Les opérations ont lieu dans un récipient sous vide, l'acier étant mis en rotation entre poche et récipient à l'aide d'un gaz neutre (argon).
On insuffle de l'oxygène pour activer la décarburation et réchauffer le métal.
Ce procédé permet une grande précision dans l'ajustement de la composition chimique de l'acier.

LA NORME NF EN 499

Symbole	Type d'enrobage
A	Acide (oxyde de fer)
AR	Acide (rutile)
B	Basique
C	Cellulosique
O	Oxydant
R	Rutile (enrobage semi-épais)
RR	Rutile (très épais)
S	Autres types

Rendement (si > 105 %) arrondi aux 10 % les plus proches

Symb	Charge de rupture R mini en MPa	Limite élastique Re mini en MPa
E 43	430-510	320
E 51	510-610	360

Teneur en hydrogène diffusible
H si 5 < teneur en ml/100 g < 10
BH si teneur en ml/100 g ≤ 5

E 51 3 / 3 B 190 3 6 H

Symbole général

Symb	Allongement mini %		Énergie d'impact Temp °C pour 28 J mini Valeur mini. ≥ 16 J
	E43	E51	
0			
1	20	18	+ 20
2	22	20	0
3	24	22	-20
4	24	22	-30
5	24	22	-40

Symb	Position de soudage
1	Toutes positions
2	Toutes positions, sauf verticale descendante
3	À plat, en gouttière, en angle à plat
4	À plat, en gouttière
5	Verticale descendante

Symb	Énergie d'impact Temp °C pour 28 J mini Valeur mini. ≥ 16 J
0	
1	+ 20
2	0
3	-20
4	-30
5	-40

Polarité à l'électrode	Courant de soudage			
	CC uniquement	CC et CA tension à vide minimale (CA)		
		50	70	90
+ ou -	-	1	4	7
-	-	2	5	8
+	0	3	6	9

Les électrodes sont repérées de 0 à 9.
CC = Courant Continu *CA = Courant Alternatif.*

Type d'électrodes enrobées pour le soudage des aciers alliés

QUALITÉ DE L'ACIER

Les normes européennes distinguent deux grandes familles d'aciers : les aciers alliés et les aciers non-alliés. Ils sont dits à bas carbone jusqu'à 0,30 %, à haut carbone de 0,30 à 0,70 %, à très haut carbone de 0,70 à 1 %.
Les aciers non-alliés peuvent contenir au maximum : 1,8 % de manganèse (Mn), 0,5 % de silicium (Si), 0,3 % de chrome (Cr), 0,08 % de molybdène (Mo).

LA NORME NF EN 757

Symbole	Limite élastique Ré 0,2 %
Y 42	420
Y 46	460
Y 50	500
Y 55	550
Y 62	620
Y 69	690
Y 79	790
Y 89	890

Symbole	Type d'enrobage
B	Basique
R	Rutile (enrobage semi-épais)

Symb	Position de soudage
1	Toutes positions
2	Toutes positions, sauf verticale descendante
3	À plat, en gouttière, en angle à plat
4	À plat, en gouttière, en angle à plat
5	Verticale descendante

Rendement (si > 105 %) arrondi aux 10% les plus proches

Teneur en hydrogène diffusible
H si 5 < teneur en ml/100g < 10
BH si teneur en ml/100 g ≤ 5

E Y55 1NiMo B 120 2 6 BH

Symbole général

Polarité à l'électrode	Courant de soudage			
	CC uniquement	CC et CA tension à vide minimale (CA)		
		50	70	90
+ ou -		1	4	7
-	-	2	5	8
+	-	3	6	9

Les électrodes sont repérées de 0 à 9.
CC = Courant Continu CA = Courant Alternatif

Symboles	Composition Chimique %								KCV - 20 °C J/cm²	
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	Autres éléments	S	P	Valeur moyenne	Valeur individuelle
Mn Mo	≤ 0,12	≤ 1,4			0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 59	≥ 35
2 Mn Mo	≤ 0,12	1,4 à 2,4			0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 59	≥ 35
1 Ni Mo	≤ 0,12	≤ 1,4		0,6 à 1,2	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 59	35
1 Ni Mo Cu	≤ 0,12	≤ 1,4		0,6 à 1,2	0,2 à 0,6	Cu 0,3 à 0,6	≤ 0,03	≤ 0,03		
1,5 Ni Mo V	≤ 0,12	≤ 1,4		0,6 à 1,8	0,2 à 0,6	V 0,05 à 0,3	≤ 0,03	≤ 0,03		
2 Mn 2 Ni Mo	≤ 0,12	1,4 à 2,4		1,6 à 1,2	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 59	≥ 35
2 Mn 1,5 Ni Mo	≤ 0,12	1,4 à 2,4		1,2 à 1,8	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 59	≥ 35
2 Mn 2 Ni Mo	≤ 0,12	1,4 à 2,4		1,8 à 2,6	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 59	≥ 35
1 Ni Cr Mo	≤ 0,12	≤ 1,4		0,6 à 0,12	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03		
1,5 Ni Cr Mo	≤ 0,12	≤ 1,4		1,2 à 1,8	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03		
2 Mn 1 Ni Cr Mo	≤ 0,12	1,4 à 2,4	0,15 à 0,6	0,6 à 1,2	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03		
2 Mn 1,5 Ni Cr Mo	≤ 0,12	1,4 à 2,4	0,15 à 0,6	1,2 à 1,8	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03		
2 Mn 2 Ni Cr Mo	≤ 0,12	1,4 à 2,4	0,15 à 0,6	1,8 à 2,6	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03		
2 Mn 2 Ni 1 Cr Mo	≤ 0,12	1,4 à 2,4	0,15 à 0,6	1,8 à 2,6	0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03		
Mn Ni Cr Cu	≤ 0,12	≤ 1,4	0,15 à 0,6	0,3 à 0,6		Cu 0,3 à 0,6	≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 59	≥ 35
Mn 1 Cr Mo	≤ 0,18	≤ 1,4	0,6 à 1,6		0,2 à 0,6		≤ 0,03	≤ 0,03		
Mn 1 Cr 1 Mo V	≤ 0,15	≤ 1,4	0,6 à 1,6		0,2 à 0,6	V 0.05 à 0.3	≤ 0,03	≤ 0,03		

Type d'électrodes enrobées pour le soudage des aciers inoxydables

QUALITÉ DE L'ACIER

Au-délà des seuils évoqués précédemment, l'acier est dit allié. Il est fortement allié dès que l'un des additifs atteint ou dépasse 5 % de la masse.
À l'intérieur de chacune des deux familles, on distingue 2 classes de qualité :
– **Aciers non-alliés de base, de qualité ou spéciaux.**
– **Aciers alliés de qualité ou spéciaux** *(les aciers inoxydables font partie des aciers alliés spéciaux).*

LA NORME NF EN 1600

Symbole	Type d'enrobage
B	Basique
R	Rutile (enrobage semi-épais)

Symb	Position de soudage
1	Toutes positions
2	Toutes positions, sauf verticale descendante
3	À plat, en gouttière, en angle à plat
4	À plat, en gouttière
5	Verticale descendante

E Z 19 12 3 L R

- **E** : Symbole générale
- **Z 19 12** : voir tableau ci-dessous
- **3** : Courant de soudage
- **2** : Position de soudage

Polarité à l'électrode	Courant de soudage			
	CC uniquement	CC et CA tension à vide minimale (CA)		
		50	70	90
+ ou -	-	1	4	7
-	-	2	5	8
+	0	3	6	9

Les électrodes sont repérées de 0 à 9.
CC = Courant Continu CA = Courant Alternatif.

Symboles	Composition Chimique %									
	C max	Mn max	Si max	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	S max	P max
Z 13	0,12	1	0,9	11-13,5					≤ 0,03	≤ 0,03
Z 17	0,1	1	0,9	15-18	0,4-0,8				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 17.4.1	0,06	1,5	0,9	15-17	4-6	0,7-1,3			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.9	0,07	2,5	0,9	18-21	9-11				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.9 L	0,03	2,5	0,9	18-21	9-11				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.9 Nb	0,08	2,5	0,9	18-21	9-11		0,64-1		≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.12.2	0,08	2,5	0,9	17-20	11-14	2-2,5			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.12.2 L	0,03	2,5	0,9	17-20	11-14	2-2,5			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.12.2 Nb	0,08	2,5	0,9	17-20	11-14	2-2,5	0,48-1		≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.12.3	0,07	2,5	0,9	17-20	10-13	2- 5,3			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.12.3 L	0,03	2,5	0,9	17-20	10-13	2- 5,3			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.12.3 Nb	0,08	2,5	0,9	17-20	10-13	2- 5,3	0,64-1,1		≤ 0,03	≤ 0,03
Z 19.13.4	0,08	2,5	0,9	18-21	12-14	3- 4			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 22.12	0,15	2,5	0,9	20-23	10-13				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 23.12	0,15	2,5	0,9	22-25	12-14				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 23.12 L	0,05	2,5	0,9	22-25	12-14				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 23.12 Nb	0,08	2,5	0,9	22-25	12-14		0,7-1		≤ 0,03	≤ 0,03
Z 23.12.2	0,12	2,5	0,9	22-25	12-14	2-3			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 16.8. 2	0,1	2,5	0,5	14,5-16,5	7,5-9,5	1-2			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 18.8 Mn	0,2	5-7	0,9	17-20	7-9				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 25.20	0,15	2,5	0,75	25-28	20-22				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 25.20.2	0,12	2,5	0,75	25-28	20-22	2-3			≤ 0,03	≤ 0,03
Z 25.20 C	0,25-0,45	2,5	1	24-28	18-22				≤ 0,03	≤ 0,03
Z 20.25.5 L Cu	0,04	2,5	0,9	19-22	24-26	4-6		1-3	≤ 0,03	≤ 0,03
Z 29.9	0,15	2,5	0,9	28-32	8-13,5				≤ 0,03	≤ 0,03

6.1.2.3. MODE OPÉRATOIRE

RÉGLAGE DE L'INTENSITÉ

Le réglage de l'intensité s'effectue en fonction du diamètre de l'électrode utilisée, lui-même déterminé par la spécificité du travail à réaliser ;

- épaisseur des matériaux
- forme du joint
- position de soudage

En règle générale le fabricant d'électrodes fait figurer sur l'emballage l'intensité moyenne d'utilisation et la polarité, qui permet de définir un réglage qui sera ajusté après essais sur chute.
Une méthode de « calcul approché » permet néanmoins de définir une intensité moyenne d'utilisation :

$$Is\ amp = 50 \times (Ø\ él - 1)$$

Exemple : *Pour une électrode de diamètre 3,15*

$$Is = 50 \times (3{,}15 - 1) = 107{,}5\ A$$

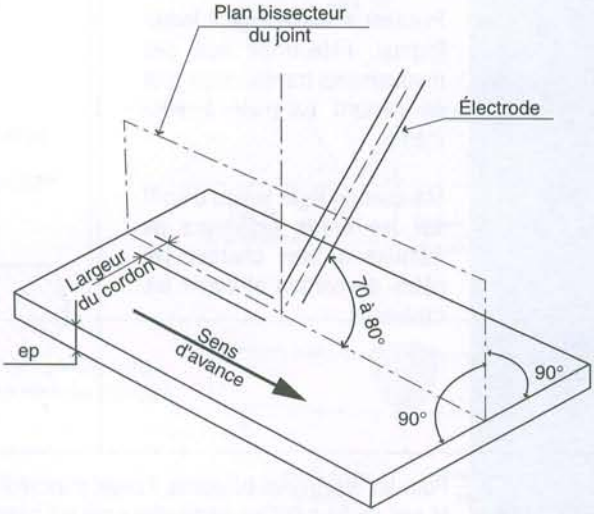
- Pour le soudage à plat en angle intérieur, l'intensité peut être augmentée de 10 à 15 %.
- Pour le soudage en corniche ou en montant, l'intensité peut être diminuée de 10 % sans que cela puisse nuire à une bonne fluidité du bain de fusion.

RÈGLE GÉNÉRALE DE TRAVAIL

L'électrode se déplace sans aucun mouvement transversal de la gauche vers la droite en restant dans le plan bissecteur du joint d'assemblage.

Le mouvement de descente de l'électrode est provoqué par le bras et l'épaule, tandis que le poignet agit de manière à maintenir l'inclinaison de l'électrode.

La longueur d'arc doit rester courte et constante, toujours inférieure au diamètre de l'électrode.



6.1.2.3. MODE OPÉRATOIRE

RÉGLAGE DE L'INTENSITÉ

Le réglage de l'intensité s'effectue en fonction du diamètre de l'électrode utilisée, lui-même déterminé par la spécificité du travail à réaliser ;

- épaisseur des matériaux
- forme du joint
- position de soudage

En règle générale le fabricant d'électrodes fait figurer sur l'emballage l'intensité moyenne d'utilisation et la polarité, qui permet de définir un réglage qui sera ajusté après essais sur chute.
Une méthode de « calcul approché » permet néanmoins de définir une intensité moyenne d'utilisation :

$$Is\ amp = 50 \times (Ø\ él - 1)$$

Exemple : *Pour une électrode de diamètre 3,15*

$$Is = 50 \times (3{,}15 - 1) = 107{,}5\ A$$

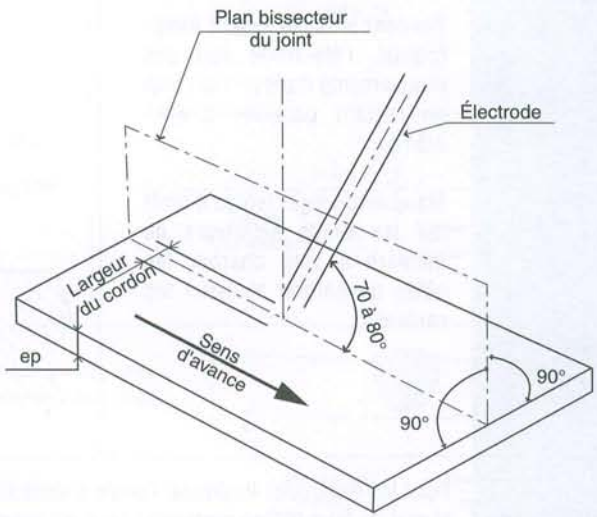
- Pour le soudage à plat en angle intérieur, l'intensité peut être augmentée de 10 à 15 %.
- Pour le soudage en corniche ou en montant, l'intensité peut être diminuée de 10 % sans que cela puisse nuire à une bonne fluidité du bain de fusion.

RÈGLE GÉNÉRALE DE TRAVAIL

L'électrode se déplace sans aucun mouvement transversal de la gauche vers la droite en restant dans le plan bissecteur du joint d'assemblage.

Le mouvement de descente de l'électrode est provoqué par le bras et l'épaule, tandis que le poignet agit de manière à maintenir l'inclinaison de l'électrode.

La longueur d'arc doit rester courte et constante, toujours inférieure au diamètre de l'électrode.

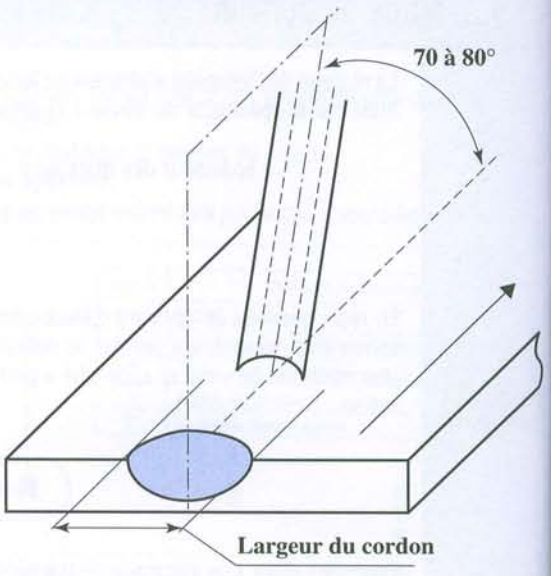


MÉTHODES DE SOUDAGE

➡ Pour le soudage en passes étroites la largeur du cordon est généralement de 1,5 à 2 fois le diamètre nominal de l'électrode.

Exemple : →

Ø 3,15 largeur de 4 à 6 mm



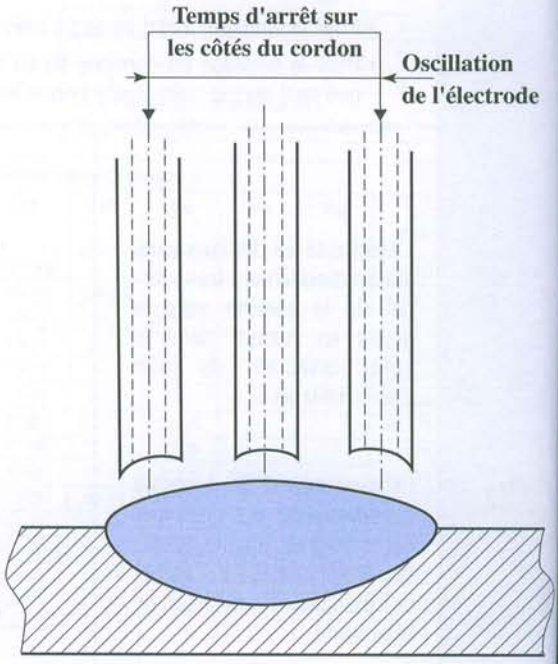
➡ Pour le soudage en passes larges (par balayage) la largeur du cordon peut être de 4 à 6 fois le diamètre.

Exemple : →

Ø 3,15 largeur de 12 à 18 mm

Pendant le déplacement longitudinal, l'électrode suit des mouvements transversaux tout en restant parallèle à elle-même.

Marquer un léger temps d'arrêt sur les bords extérieurs de manière à bien charger les côtés du cordon et éviter les caniveaux.



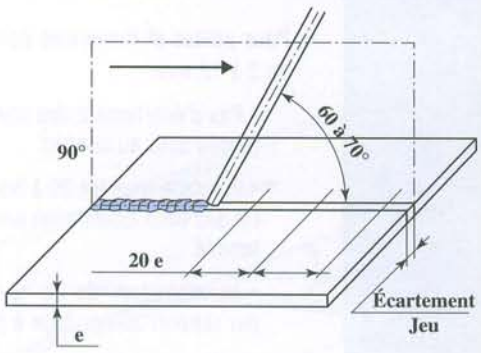
PARTICULARITÉ ÉLECTRODE BASIQUE

Pour les électrodes basiques, l'angle d'inclinaison est généralement proche de la perpendicularité soit de 80 à 90° en particulier pour les passes de pénétration.
L'arc est maintenu très court.
L'amorçage doit être franc, par grattage, et le réamorçage d'une électrode entamée peut poser quelques problèmes aux débutants.

SOUDAGE A PLAT

➡ Pour épaisseur de 1 à 4 mm :

- Écartement des bords e/2
- Pointage tous les 20 à 30e avec une légère surintensité
- Polarité – en rutile
  + en basique
- Arc court



➡ Pour épaisseur de 5 à 15 mm

Chanfrein en V avec ou sans reprise envers

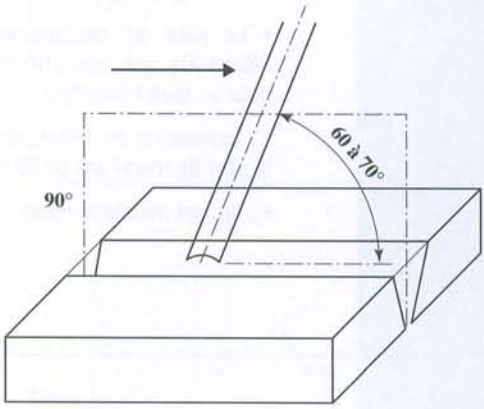
- Talon du chanfrein 1,5 à 3 mm
- Jeu de 2 à 3 mm
- Le jeu doit être contrôlé après pointage
- Pointage tous les 30 à 40e
- Les points doivent être pénétrés comme s'il s'agissait d'un cordon de soudure
- Anticiper les déformations, dues au retrait, avant le soudage.
- Polarité

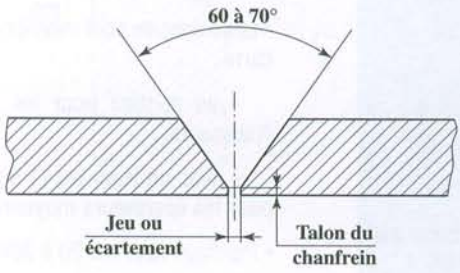
– en rutile

– en basique pour la pénétration

+ en basique pour le remplissage

- Arc court.



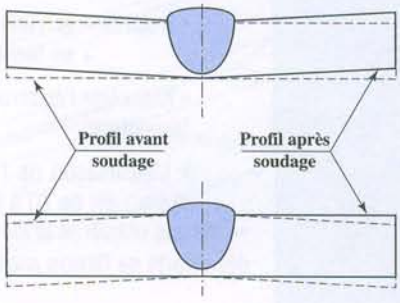


PRÉCAUTIONS

Dans le cas d'assemblage simple il est souvent utile d'anticiper les déformations en prévoyant une pré-déformation qui permet de retrouver la forme voulue de la pièce après soudage.

Pièce soudée sans précaution au pointage

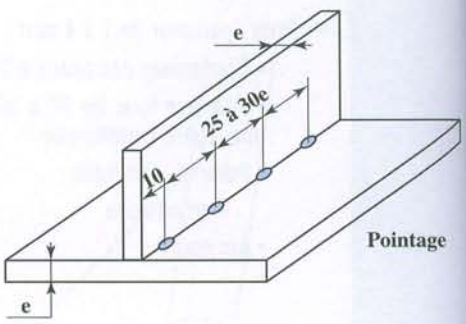
Pièce soudée avec déformations anticipées

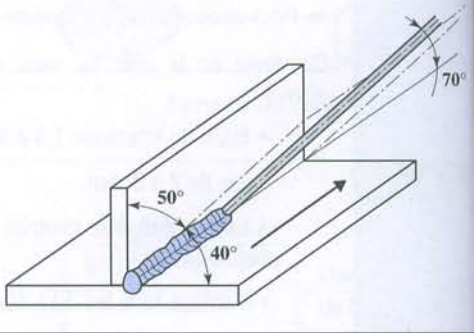


SOUDAGE EN ANGLE INTÉRIEUR

➡ Pour petites et moyennes épaisseurs de 2 à 12 mm

- Pas d'écartement des bords : les pièces sont au contact
- Pointage tous les 25 à 30e, alterné des deux côtés avec une surintensité.
- Is supérieure de 20 % environ par rapport au soudage à plat
- Polarité – en rutile
  + en basique
- Le plan de déplacement de l'électrode est légèrement inférieur au plan bissecteur.
- L'inclinaison de l'électrode dans le plan de travail est de 60 à 70°
- L'arc est maintenu court



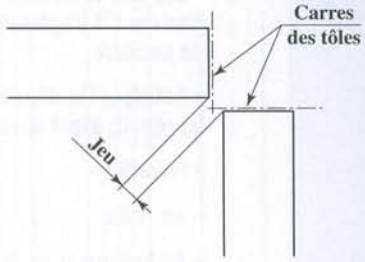


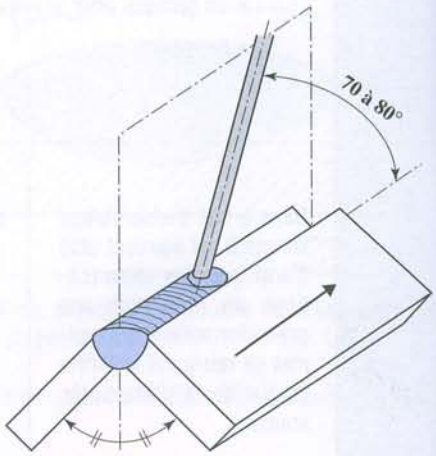
SOUDAGE EN ANGLE EXTÉRIEUR

➡ Pour petites et moyennes épaisseurs de 3 à 12 mm

- Les éléments sont montés carre à carre :
  – au contact pour les petites épaisseurs,
  – avec un léger jeu (1 à 2 mm) pour les épaisseurs moyennes.
- Pointage tous les 20 à 30e
- **Is** inférieure de 10 % environ par rapport au soudage à plat
- Polarité – en rutile
  + en basique
- Maintenir l'électrode dans le plan bissecteur
- L'inclinaison de l'électrode dans le plan est de 70 à 80°

➡ Ne pas utiliser si le joint est soumis à des efforts de flexion angulaire

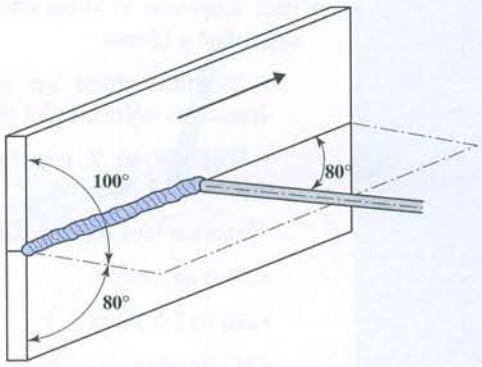




SOUDAGE EN CORNICHE

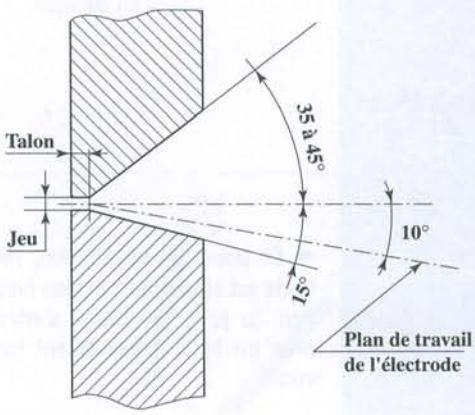
➡ Pour petites épaisseurs de 2 à 4 mm

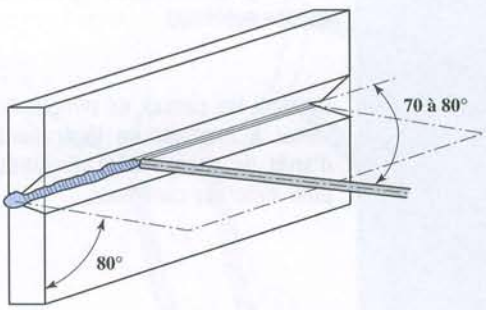
- Sur bords droits
- Jeu = e/2
- Pointage tous les 20 à 30e
- **Is** inférieure de 10 % par rapport au soudage à plat
- Polarité – en rutile
  + en basique
- Maintenir l'électrode dans un plan de travail légèrement sous l'horizontale



➡ Pour moyennes épaisseurs de 4 à 12 mm

- Préparation généralement dissymétrique du joint
  – chanfrein du bas 15°
  – chanfrein du haut 35 à 40°
- Talon de 2 à 3 mm
- Jeu de 2 à 3 mm
- Pointage tous les 30e
- Is inférieure de 10 % par rapport au soudage à plat
- Éviter le travail avec des électrodes de gros diamètre
- Polarité – en rutile
  – en basique 1e passe
  + en basique remplissage
- Maintenir un arc très court
- Éviter les passes trop bombées qui peuvent amener des inclusions dans les passes suivantes

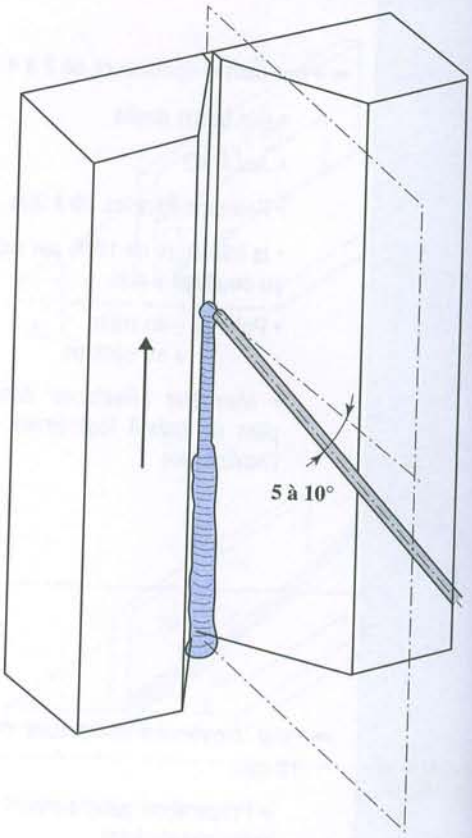




SOUDAGE EN MONTANT

➡ Pour moyennes et fortes épaisseurs de 4 à 12 mm

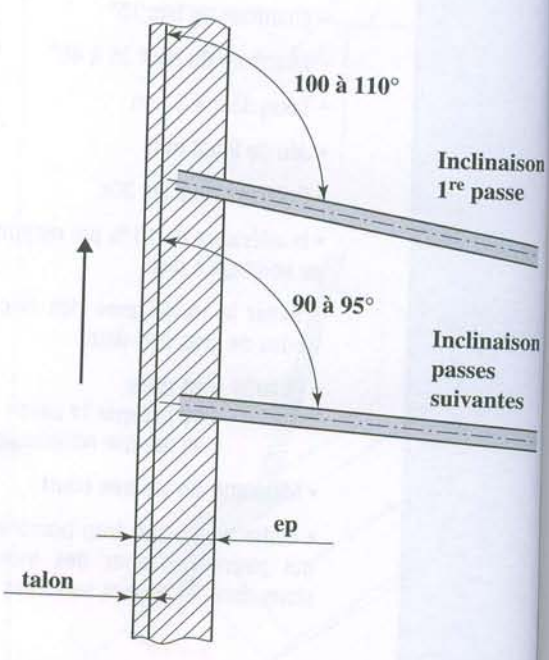
- Rarement utilisé sur des épaisseurs inférieures à 4 mm
- Chanfrein en V, ouverture environ 60 à 70°
- Pointage tous les 20 à 30e
- Talon de 2 mm
- Jeu de 2 à 3 mm
- **Is** inférieure de 15 à 20 % par rapport au soudage à plat, en veillant à maintenir un bain de fusion fluide pour éviter les inclusions
- Polarité – en rutile
  + en basique



➡ En passe de pénétration, l'électrode est située dans le plan bissecteur du joint ; le travail s'effectue avec un léger balancement transversal.

L'inclinaison est légèrement négative en 1e passe et devient pratiquement perpendiculaire pour les passes suivantes.

Pendant les passes de remplissage veiller à marquer un léger temps d'arrêt de chaque côté du cordon pour éviter les caniveaux.



SOUDAGE EN MONTANT

➡ Le soudage des tubes s'exécute sur tubes de moyens ou gros diamètres 60 à 250 mm et d'épaisseur = 4 mm

Deux possibilités sont développées

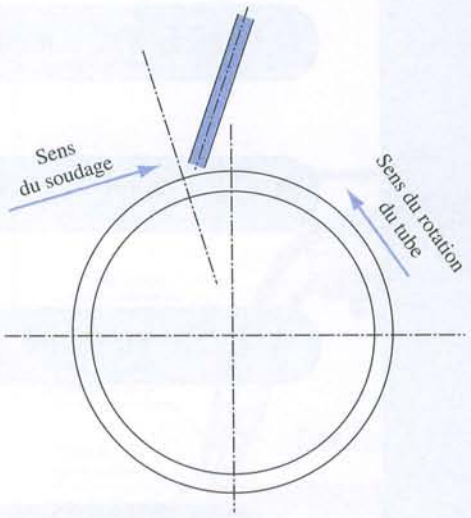
Tube tournant, axe horizontal

Le travail est assimilé à une soudure à plat ou en demi-montant

- Bords chanfreinés en **V**
- Talon de 1,5 à 2 mm
- Jeu mini 2,5 mm même pour les faibles épaisseurs
- Pointage variant en fonction du diamètre :

  3 points pour les petits diamètres, jusqu'à 8 ou 10 points pour les gros diamètres

- **Is** légèrement inférieure au soudage à plat du fait de la concentration de la chaleur

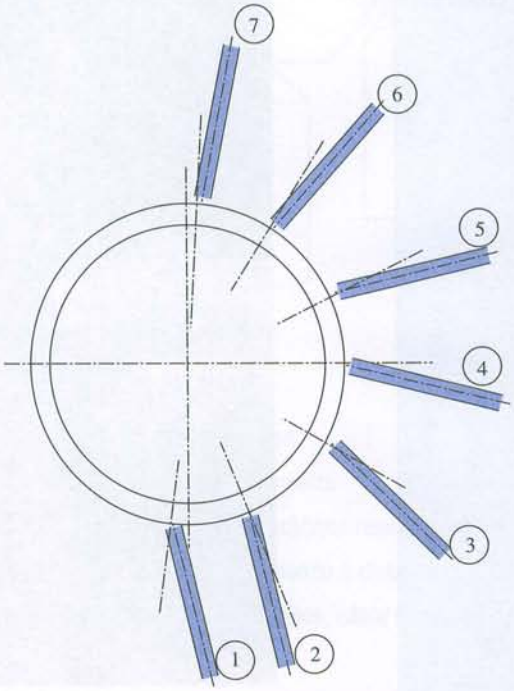


➡ Tube fixe, axe horizontal

Le travail s'effectue symétriquement, en deux temps, de chaque côté du tube

- Successivement dans les positions plafond, montante, demi-montante et à plat
- Le point de départ du cordon se situe en arrière de l'axe inférieur du tube ; il est ensuite meulé pour la reprise
- **Is** est inférieure de 10 à 15 % par rapport au soudage à plat
- Maintenir un arc très court
- La position de l'électrode varie au cours du travail en fonction de l'inclinaison du cordon

Voir croquis ci-contre



6.1.3. SOUDAGE À L'ARC SOUS ATMOSPHÈRE CONTRÔLÉE PROCÉDÉS MIG, MAG, FIL FOURRÉ

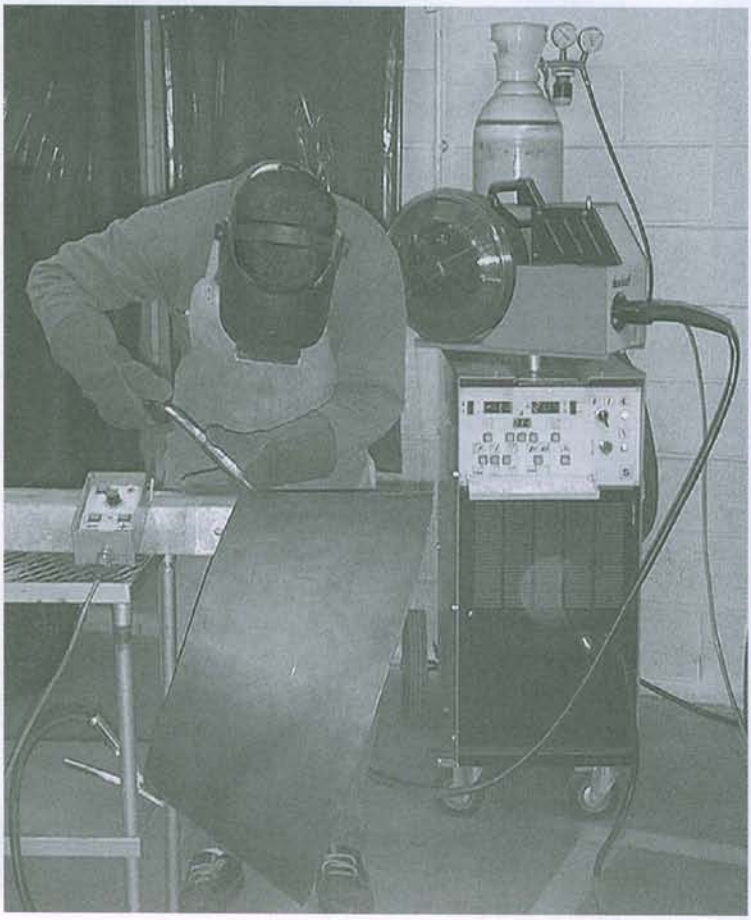
M.I.G. Métal Inerte Gaz — *Procédé No.* **131**

M.A.G. Métal Actif Gaz — *Procédé No.* **135**

Fil Fourré — *Procédé No.* **136**

Norme **NF EN 24063**

POSTE DE TRAVAIL (Exemple)



6.1.3.1 PROCÉDÉ SEMI AUTOMATIQUE

PRINCIPE DU PROCÉDÉ

L'arc électrique est provoqué par la rupture partielle d'un circuit électrique de caractéristiques données ; il permet d'obtenir la fusion localisée des bords à souder et du fil électrode qui sert de métal d'apport, dans une atmosphère gazeuse contrôlée de protection.

L'atmosphère gazeuse peut être « neutre » ou « active », selon le cas :

Neutre ➡ MIG Métal Inerte Gaz

Active ➡ MAG Métal Actif Gaz

Schéma de principe du soudage MIG MAG

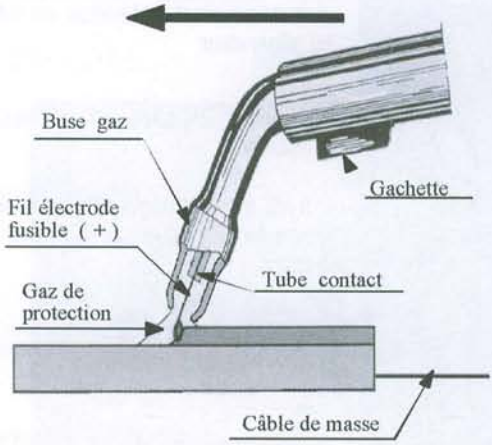
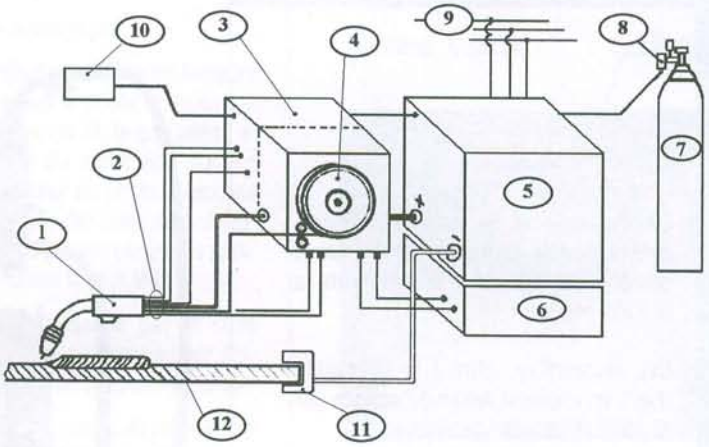


SCHÉMA D'UNE INSTALLATION DE SOUDAGE



1 Torche de soudage
2 Faisceau des câbles et de la gaine guide fil
3 Coffret de commande et dévidoir
4 Bobine de fil métal d'apport
5 Générateur de soudage
6 Groupe de refroidissement
7 Gaz de protection
8 Détendeur débitmètre
9 Alimentation électrique réseau
10 Boîtier de commande à distance
11 Connecteur de pièce, câble de masse
12 Pièce à souder

TYPES D'INSTALLATIONS

Différents types d'installations sont actuellement utilisés dans l'industrie.

Installations compactes

Généralement de petite et de moyenne puissances dont le dévidoir est intégré au générateur.

Elles sont utilisées en carrosserie, serrurerie...

Offrent les avantages d'une mise en œuvre facile et d'un gain de place intéressant

Doc. Commercy soudure

Installations composées

De moyenne et de forte puissances, seul le module coffret de commande et dévidoir est déplacé à proximité de la pièce à souder.

Ces installations offrent la possibilité d'être rapidement mises en service sur le poste de travail.

Nota : Ces installations peuvent en outre être équipées de commandes de réglage à distance et d'un circuit de refroidissement à l'eau.

Doc. S.A.F

GÉNÉRALITÉ

Réglage des postes

L'arc est produit par un courant redressé, fourni par un générateur dont on peut régler la **tension « U »** et l'**intensité « I »** accouplée **à la vitesse du fil métal d'apport « Vf ».**
Le pôle positif est toujours raccordé à la torche de soudage donc sur le fil électrode.

Il existe deux types de réglage de poste :

A) les postes à réglage classique

B) les postes à réglage synergique.

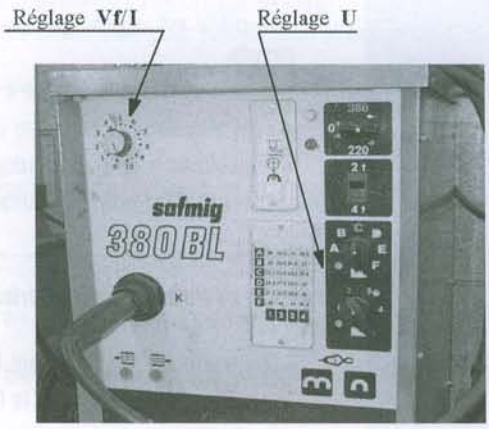
RÉGLAGE DES POSTES

A) Réglage classique :

1°/ Réglage manuel de la tension U en fonction du diamètre du fil, de l'épaisseur du matériau à souder et de la position de soudage.

2°/ Réglage manuel de la vitesse de dévidage du fil qui détermine par couplage l'intensité et donc le bombé et la pénétration du cordon.

3°/ Les réglages sont généralement affinés après essai

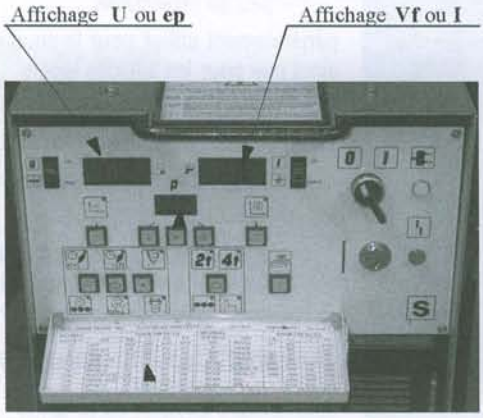


B) Réglage synergique :

1°/ L'utilisateur affiche les facteurs de travail sur le poste, la nuance et le diamètre du fil, le gaz utilisé et l'épaisseur du matériau à souder. Le calculateur du poste détermine alors d'après des courbes prédéfinies les meilleures plages de paramètres utiles **U** et [**I.Vf**].

2°/ Il est possible par la suite d'ajuster ces paramètres par l'intermédiaire de la télécommande.

Nota : Ces paramètres peuvent être mémorisés, voire être imprimés en cas d'élaboration d'un « **DMOS** ».



Choix du N° de programme par le couple fil /gaz

Les postes synergiques sont des générateurs qui déterminent, depuis une base de données, les paramètres électriques optimums à partir de facteurs de travail donnés par le soudeur.

Ce sont généralement des générateurs à composants thyristors ou transistors pilotés par une commande électronique.

Les modes de régime de transfert d'arc

Le régime de transfert est le mode de passage du métal d'apport dans l'arc électrique vers le bain de fusion du joint de soudure.

Rappel : fil + pièce –

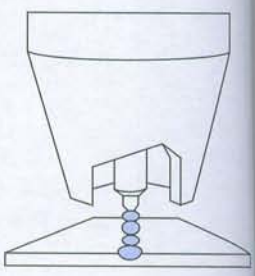
Trois types de transfert sont généralement utilisés en fonction de la tension, de l'intensité et de la nature du gaz utilisé.

TRANSFERT D'ARC

*Le régime de transfert par **court-circuit** avec un arc court : **Short arc**.*

- tension d'arc et intensité faibles,
- le métal est déposé par une succession de petits courts-circuits,
- le bain de fusion est facile à conduire,
- la pénétration est bonne,
- projections le long du cordon,

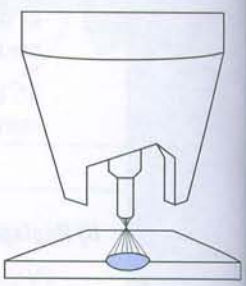
généralement utilisé pour le soudage de fines épaisseurs ou en position.



*Le régime de transfert par **pulvérisation** axiale avec un arc long : **Spray arc**.*

- la tension et l'intensité sont fortes,
- le métal est déposé sous la forme de fines gouttelettes,
- la pénétration n'est pas très forte,
- le taux de dépôt du métal est important,
- peu de projections,

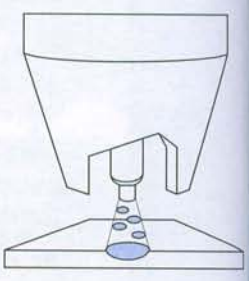
généralement utilisé pour le soudage de fortes épaisseurs à plat ainsi que pour les alliages légers.



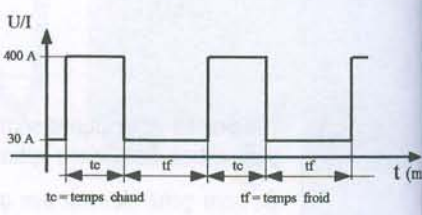
*Le régime de transfert dit **globulaire** :*

- les paramètres sont moyens,
- l'arc est long,
- le métal se déplace sous la forme de grosses gouttes dont la trajectoire est difficilement maîtrisable,
- pénétration assez bonne,
- projections assez importantes,

utilisé avec des mélanges gazeux de plus de 80 % d'argon ou avec du CO_2 sur des aciers d'usage courant.



Le régime de transfert courant pulsé :
Ce type de transfert amène dans les régimes globulaires ou spray-arc des séquences ou impulsions contrôlées qui présentent l'avantage de forcer le détachement du métal fondu tout en maîtrisant le diamètre des gouttes.



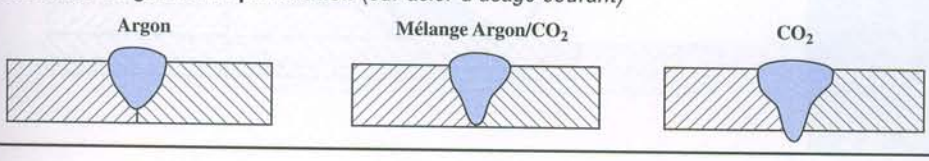
RÔLE DES GAZ EN SOUDAGE

Les gaz de protection

Les gaz protègent de l'air ambiant le bain de fusion et le métal transféré dans l'arc.
Aidant à l'amorçage et à la stabilité de l'arc, ils sont choisis en fonction de la nature du métal à souder, du fil M. A et du mode de transfert recherché.
Ils sont utilisés purs ou en mélange binaire, voire ternaire.

Les gaz inertes	
Argon « A » * Couleur conventionnelle : vert foncé	Gaz de base en protection soudage. S'utilise pur ou en mélange. Il favorise par ses caractéristiques l'amorçage de l'arc. Rarement utilisé pur en M.I.G, sauf pour l'aluminium et ses alliages
Hélium « He » * Couleur conventionnelle : marron	Permet d'accroître la pénétration et améliore le mouillage en donnant un cordon plus plat. Utilisé plus particulièrement pour le soudage de l'aluminium et de ses alliages.
Azote « N » * Couleur conventionnelle : noir	Utilisé généralement en protection envers du joint de soudure pour éviter le rochage. Avec un traînard sur les tôles ou par bouchonnage sur les tubes
Les gaz actifs	
Anhydride Carbonique « CO_2 » * Couleur conventionnelle : gris	Facilite le travail sur les aciers oxydés. Augmente la pénétration Utilisable en régime de transfert short-arc et globulaire
Oxygène « O_2 » * Couleur conventionnelle : blanc	Additif utilisé en petit pourcentage, 5 % maxi en mélange Favorise le transfert en spray-arc Augmente la pénétration qui devient plus pointue Soudage des aciers inoxydables.
Hydrogène H_2 * Couleur conventionnelle : rouge	5 % maxi en mélange, entraîne un arc plus énergétique. Augmente la pénétration et la vitesse de soudage Améliore l'aspect du cordon par son rôle réducteur Utilisé sur les aciers d'usage courant

Incidence du gaz sur la pénétration *(sur acier d'usage courant)*



* De l'ogive de la bouteille

Soudage à l'arc en semi-automatique

Mode opératoire

DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES

Le soudeur détermine les réglages du poste par rapport aux différents facteurs de travail imposés par le joint à souder :

- Nature du matériau de base.
- Épaisseur.
- Position de soudage.
- Forme du cordon à obtenir.

Ces paramètres à régler sont :

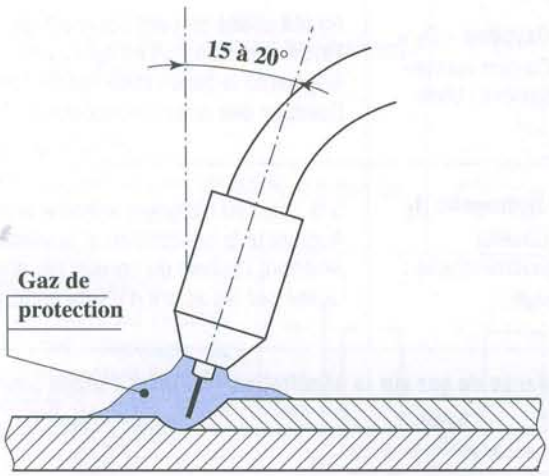
- la nuance et le diamètre du fil,
- la tension **U**,
- la vitesse du fil, liée à l'intensité **[Vf, I]**,
- la nature du gaz et son débit,
- la self de travail.

- La tension **U** est en rapport avec le diamètre du fil et le mode de transfert recherché.
- La vitesse du fil est en rapport avec la quantité de métal désirée, la position de soudage, la forme finale du cordon à obtenir.
- Le gaz est choisi en fonction de la nature du métal à souder, de la position de soudage et du mode de transfert utilisé. Son débit est de 8 à 17 litres/min en **M. A. G.** et de 10 à 22 l/min en **M. I. G.**
- La self de travail sera utilisée en position forte pour le soudage en court-circuit généralement sur tôle fine et en position minimum pour le travail en pulvérisation axiale.

POSITION DE LA TORCHE

La torche (buse gaz) est inclinée vers la droite d'environ 20° par rapport à la verticale. Le gaz est ainsi propulsé tout autour de l'arc électrique et du bain de fusion.

Une inclinaison trop importante peut provoquer des entrées d'air ambiant sur le bain de fusion et amener des défauts.



Deux sens de travail peuvent être utilisés :

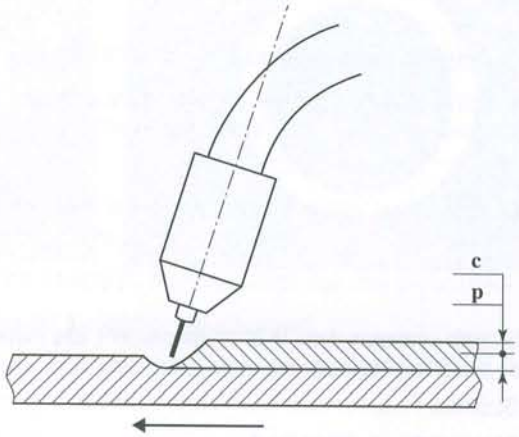
en poussant (de droite à gauche), ou

en tirant (de gauche à droite).

En poussant :

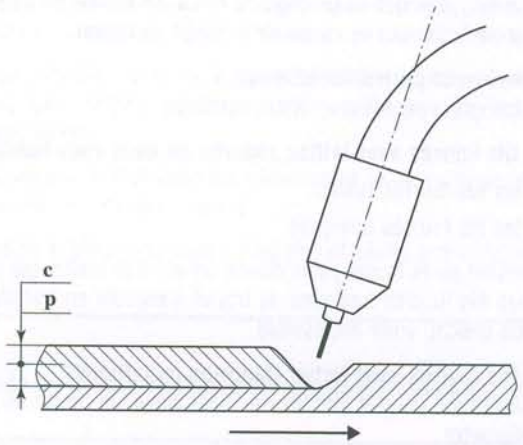
- L'arc électrique est créé en avant du bain de fusion ce qui a tendance à l'allonger.
- La vitesse d'avance est rapide, la surépaisseur du cordon est faible.
- La pénétration n'est pas très importante.
- Le bain de fusion et le joint d'assemblage sont bien visibles.

SENS DE DÉPLACEMENT



En tirant :

- L'arc électrique reste dans le bain de fusion ce qui a tendance à en augmenter la chaleur.
- La pénétration est plus importante.
- La vitesse d'avance est plus faible, le cordon est plus bombé et plus large.
- Le suivi du joint d'assemblage est moins aisé (caché par la buse gaz).

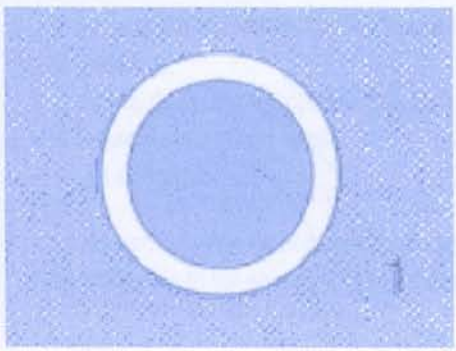


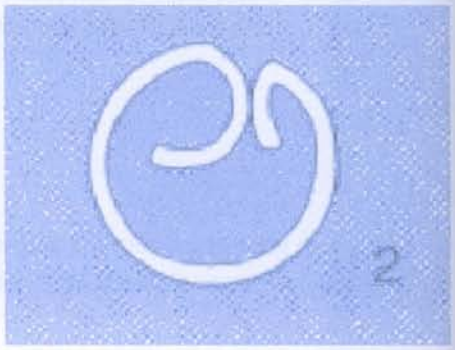
6.1.3.2 SOUDAGE SEMI-AUTOMATIQUE AVEC FIL FOURRÉ

D'après document Air Liquide

PRINCIPE DU PROCÉDÉ

Le principe du soudage à l'arc avec fil-fourré est le même que celui des procédés MIG et MAG. L'arc est établi entre le fil électrode et les pièces à souder.
L'alimentation électrique se fait toujours en courant continu, la polarité dépend du fil et est précisée par le fournisseur pour chaque référence.
Un fil fourré se compose d'une gaine en acier remplie par un fourrage en poudre. La gaine est constituée soit par un tube soudé 1 (technique Oerlikon), soit réalisée à partir d'un feuillard plié et roulé 2 (technique Chemetron).





Les éléments contenus dans le fourrage peuvent être métalliques ou non métalliques, les fonctions de ces éléments sont :

- Stabiliser l'arc,
- Agir comme un désoxydant,
- Émettre des gaz (de protection), dans certains cas,
- Produire un laitier, dans certains cas,
- Apporter des éléments d'alliage.

TYPES DE FILS

Il existe deux grandes familles de fils fourrés : ceux qui s'utilisent sans gaz de protection et ceux qui s'utilisent avec un gaz de protection.

Fil fourré sans protection gazeuse
C'est le fourrage qui va protéger le métal en fusion en dégageant dans l'arc des gaz et en produisant un laitier qui va recouvrir le métal en fusion.

Fil fourré avec protection gazeuse
Cette catégorie se divise en deux familles :

- **Les fils fourrés avec laitier, répartis en deux sous-familles :**
  - les fils fourrés rutiles,
  - les fils fourrés basiques.

L'utilisation du fil fourré rutile donne un arc très stable qui permet le travail en toutes positions. Pour les fils fourrés basiques, le travail s'exécute en transfert dit globulaire et rend le travail en position délicat, voire impossible.

- **Les fils fourrés sans laitier (fourrage métallique).**

Leur utilisation permet un taux de dépôt élevé ; le travail en position est possible avec des fils de petit diamètre.

Les assemblages thermiques

GAZ DE PROTECTION

Pour les fils fourrés rutiles et basiques, les gaz les plus utilisés sont des mélanges Argon/CO_2. Pour les fils fourrés sans laitier, les mélanges sont également de type Argon/CO_2 mais des mélanges Argon/Oxygène peuvent aussi être utilisés.

Dans tous les cas consulter les fiches techniques des fabricants.

6.1.3.3 MAINTENANCE DE 1er NIVEAU DES MATÉRIELS MIG/MAG – F.F. (FIL FOURRÉ)

LE GÉNÉRATEUR

Le bon fonctionnement d'un générateur dépend de son entretien.

- Le dépoussiérage à l'air comprimé sec est préconisé une fois par mois pour les ambiances chargées en particules métalliques, telles que les chaudronneries, les chantiers de construction, etc.
- Le contrôle semestriel de tous les serrages, notamment côté soudage, s'avère nécessaire.
- En aucun cas, les générateurs ne doivent être placés contre un mur ou dans un endroit trop exigu. Cela empêcherait la circulation d'air et nuirait au bon refroidissement.

LE DÉVIDOIR

- Sur les anciens dévidoirs uniquement, il faut vérifier les charbons des moteurs fréquemment, au minimum deux fois par an.
- Périodiquement l'ensemble du moto-réducteur doit être dépoussiéré.
- Le frein de bobine est à contrôler régulièrement.
- Un examen régulier de la pression exercée par le contre-galet sur le fil est nécessaire.

LA TORCHE ET SON FAISCEAU

- Il ne faut jamais utiliser sans eau une torche prévue pour être refroidie à l'eau.
- La circulation d'eau doit être fréquemment contrôlée.
- Les raccords des canalisations de gaz doivent être resserrés périodiquement.
- Il faut nettoyer très souvent l'intérieur des gaines de passage de fil à l'aide d'air comprimé et, si nécessaire, les dégraisser.
- Les gaines intérieures doivent être montées impérativement en compression dans le faisceau.
- Seules les gaines en téflon doivent être utilisées pour le cuivre, l'aluminium et ses alliages. Le tube contact doit être remplacé dès qu'il montre des signes d'usure.
- Utiliser des tubes contacts courts ou longs adaptés à la nuance et au diamètre du fil, ainsi qu'au régime d'arc. Leur emploi est donc spécifique. Prendre garde à les utiliser selon les indications du fournisseur.
- Les buses s'encrassent. Il faut donc les débarrasser de leurs projections sans les rayer, à l'aide d'un outil en aluminium ou en cuivre.
- Nous conseillons de protéger les buses avec des produits anti-adhérents adaptés

Attention :

Une torche utilisée au-dessus de l'intensité maximale prévue se détériore rapidement

6.1.4. SOUDAGE A L'ARC SOUS ATMOSPHÈRE INERTE-PROCÉDÉ T.I.G.

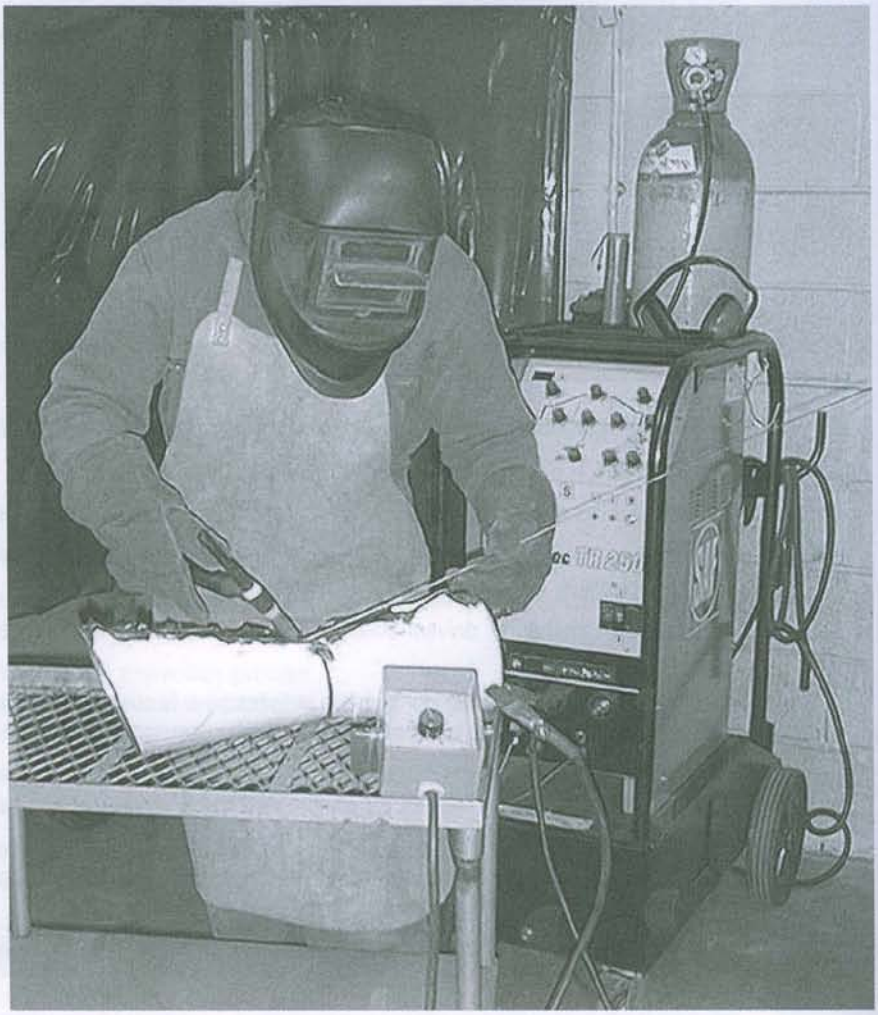
T.I.G.

Tungstène Inerte Gaz

Procédé No. **141**

Norme **NF EN 24063**

POSTE DE TRAVAIL (Exemple)



Les assemblages thermiques

DÉFINITION

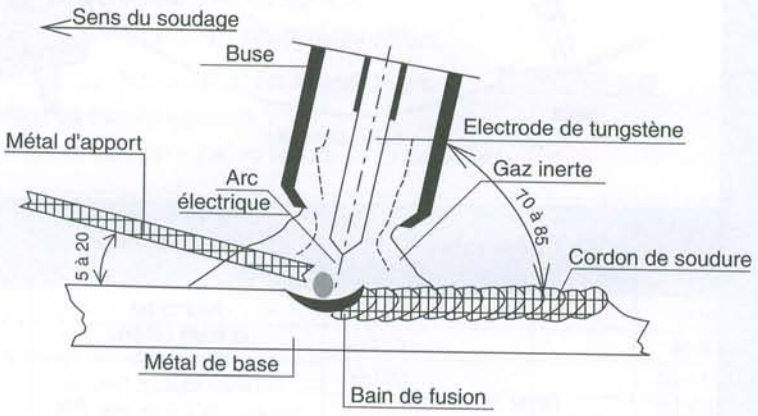
Procédé dans lequel l'énergie nécessaire à la fusion des pièces à assembler est apportée par un arc électrique établi entre une électrode réfractaire en tungstène et le joint à souder.

L'électrode et le bain de métal en fusion sont protégés de l'air ambiant (azote et oxygène), par une colonne de gaz inerte.

d'où le nom **T.I.G**

- En Anglais « Tungsten Inert Gas » **T.I.G**
- En Américain « Gas Tungsten Arc Welding » **G.A.T.W**
- En Allemand « Wolfram Inert Gas » **W.I.G**

PRINCIPE



DOMAINES D'APPLICATIONS

Bien qu'occupant tous les créneaux professionnels dans lesquels s'emploie le soudage, le procédé TIG trouve son application principale dans les industries mettant en œuvre les aciers inoxydables et les alliages légers comme dans les domaines de la construction alimentaire, chimique, l'aéronautique...
La taille des matériels et leur facilité de mise en œuvre, en font depuis quelques temps le procédé idéal pour l'utilisation en chantier pour tous travaux de qualité tout particulièrement pour le soudage en position.
La plage des épaisseurs soudables est complète depuis les fines et très fines épaisseurs mais le procédé est surtout utilisé dans les fortes épaisseurs pour la réalisation des premières passes de soudage (dites passes de pénétration).

NATURE DU COURANT DE SOUDAGE

La nature du courant de soudage est déterminée par la composition du matériau à assembler.

- **On utilise le courant alternatif** pour le soudage de l'aluminium et de ses alliages.

L'alternance du courant faisant passer les électrons alternativement dans un sens puis dans l'autre permet l'éclatement de la couche d'alumine.

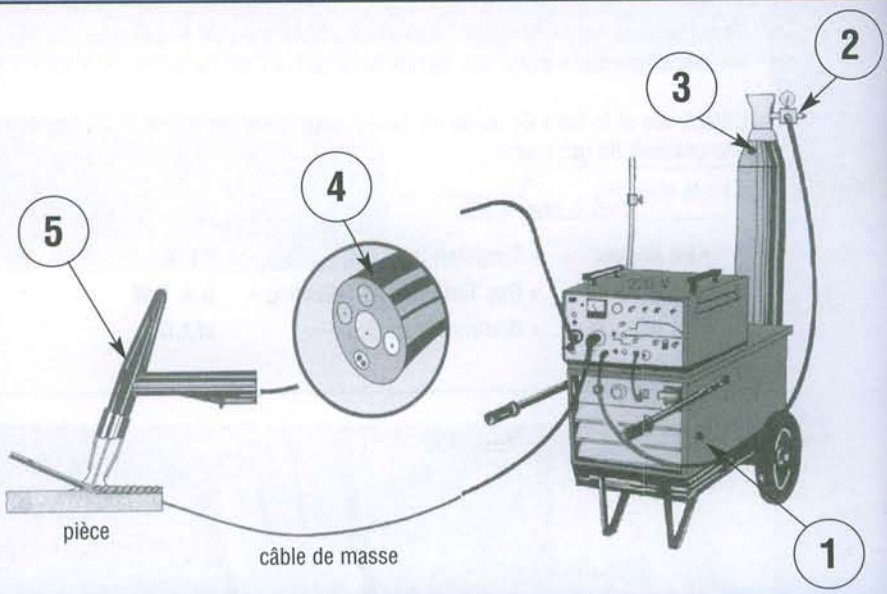
- **Le courant continu** (redressé) principalement utilisé pour le soudage des aciers courants et des aciers inoxydables, peut également être utilisé dans certains cas pour l'aluminium.

L'électrode est toujours reliée au pôle négatif (polarité directe) afin de limiter son échauffement.

- **Le courant pulsé,** variante du courant continu, permet une succession de temps chauds et froids qui facilitent le dépôt de métal tout en assurant une bonne pénétration.

Les assemblages thermiques

SCHEMA D'UNE INSTALLATION T.I.G.



Rep	Désignation	Courant continu	Courant alternatif
1	Poste de soudage	Fournit du courant continu. Surtout employé pour le soudage de l'acier non allié, faiblement allié, fortement allié, pour le cuivre et ses alliages	Fournit du courant alternatif. Employé pour le soudage de l'aluminium et de ses alliages
2	Détendeur débitmètre	6 à 10 litres	4 à 6 litres
3	Bouteille de gaz (gaz inerte)	Argon ou hélium. Une électrovanne assure le passage du gaz protecteur. Une temporisation permet de maintenir le circuit du gaz ouvert : avant l'amorçage, pendant l'exécution de la soudure, après la coupure du courant de soudage.	
4	Polygaine	La polygaine est composée de la commande à distance 24 V, du câble de courant de soudage, de la canalisation du gaz et parfois de l'arrivée et retour d'eau de refroidissement de la torche.	
5	Torche	Il est recommandé d'amorcer sans toucher la pièce ; la HF (haute fréquence) permet l'amorçage à distance.	

REMARQUES

Il existe également des générateurs mixtes qui fournissent du courant alternatif et du courant continu, de quelques ampères à 500 A et une tension à vide de 60 V à 130 V.
Certains générateurs T.I.G. permettent l'aménagement pour le soudage avec des électrodes enrobées.

NATURE DES ELECTRODES

Le choix d'une électrode de soudage TIG est déterminé par :

- Sa nature qui dépend de la composition du métal à assembler
- Son diamètre choisi en fonction de l'intensité nécessaire à la réalisation du soudage.

Il existe plusieurs types d'électrodes:

	couleur des extrémités
• Tungstène pur	verte
• Tungstène avec 2% de thorium	rouge
• Tungstène avec 2% de cérium	grise
• Tungstène avec 0,5 à 2% de zirconium	blanche

CHOIX D'UNE ÉLECTRODE

Pour le soudage de l'acier, de l'acier inoxydable et du cuivre :

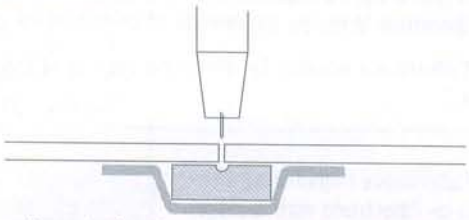
- Soudage en courant continu ou redressé,
- Électrode en tungstène au thorium ou au cérium.

Pour le soudage de l'aluminium et des alliages légers :

- Soudage en courant alternatif
- Électrode en tungstène pur, au cérium ou au zirconium.

Ø Électrode mm	Acier Inoxydable courant continu tungstène thorié I (A)	Alliages légers courant alternatif tungstène pur I (A)
1	10-80	10-50
1,6	50-120	40-80
2	90-190	60-110
2,4	100-230	70-120
3,2	170-300	90-180
4	260-450	160-240
4,8	400-650	200-300

GAZ DE PROTECTION



Supports céramiques fixés par des rubans adhésifs

L'**ARGON** est le gaz le plus utilisé, il est livré dans deux catégories de pureté :

- Une qualité à 99,99% pour les aciers d'usage courant,
- Une qualité à 99,995% pour les aciers inoxydables et les aluminiums et alliages.

L'**HÉLIUM** est souvent utilisé en mélange avec l'argon pour des travaux de qualité particulière. Il favorise la pénétration et diminue la formation d'ozone.
Pour éviter la corrosion de la pénétration le soudage des aciers inoxydables et des aluminiums nécessite une protection envers du cordon avec un gaz neutre (azote, Ar, He).
Dans certains cas la protection est assurée par pose de support céramique collé sur l'envers de la soudure.

LES MÉTAUX D'APPORTS

Nature du métal d'apport :
Le choix du métal d'apport se fait en fonction de la nature du métal de base à assembler.

Diamètre du métal d'apport :
Son diamètre dépend de l'épaisseur de la pièce à souder et de la section du joint de préparation.

Conditionnement
Les métaux d'apport de diamètre 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.2, 4.0, et de longueur 1000 sont conditionnés en tubes de carton d'environ 50 mm de Ø.
Le poids du conditionnement varie selon la nature du métal à souder:

- Aluminium 2 kg
- Acier inoxydable 5 kg
- Acier non alliés 10 kg

6.1.4.1 PARTICULARITÉS DU SOUDAGE DE L'ALUMINIUM

Les températures (θ) théoriques relevées de l'arc électrique laissent apparaître des différences de valeurs importantes suivant l'endroit où elles sont mesurées.

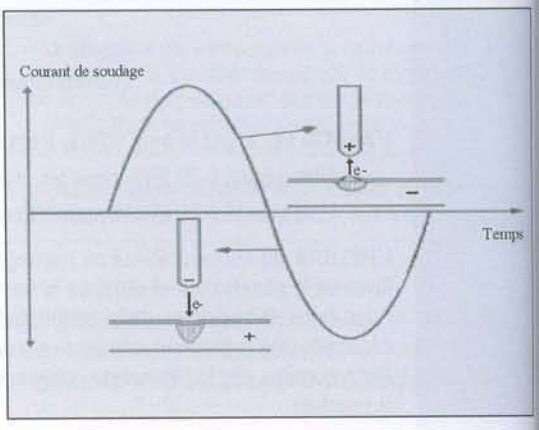
- Au pôle positif (anode) 3000°C
- Dans la colonne d'arc 4700°C
- Au pôle négatif (cathode) 2500°C

L'aluminium fond à 653°C, l'alumine disposée en fine couche à la surface du métal fond à 2040°C.

Influences du courant alternatif
Pendant l'alternance des polarités directes et inverses le déplacement des électrons va changer de sens avec la fréquence du courant et fait craquer la couche d'alumine qui ne fond pas vraiment dans le bain de fusion.
Mais l'arc est porté à une température voisine de 3500°C, dépassant la température de fusion du tungstène (3270°C). L'utilisation d'un courant alternatif permet le basculement de la polarité et laisse à l'électrode le temps de refroidir et de conserver une bonne tenue.

Pendant l'alternance positive les électrons vont de la pièce vers l'électrode et cassent la couche d'alumine.

Pendant l'alternance négative les électrons vont de l'électrode vers la pièce, ce qui augmente la température du bain de fusion et favorise la pénétration.



6.1.4.2 SOUDAGE À L'ARC SOUS ATMOSPHERE INERTE TIG - MODE OPÉRATOIRE

CONDITIONS OPÉRATOIRES

Préparation

1. Nettoyer le métal d'apport par grattage, toile émeri, lime etc.

2. Les bords à souder sont dégraissés, nettoyés de toutes traces de rouille ou grattés dans le cas du soudage de l'aluminium

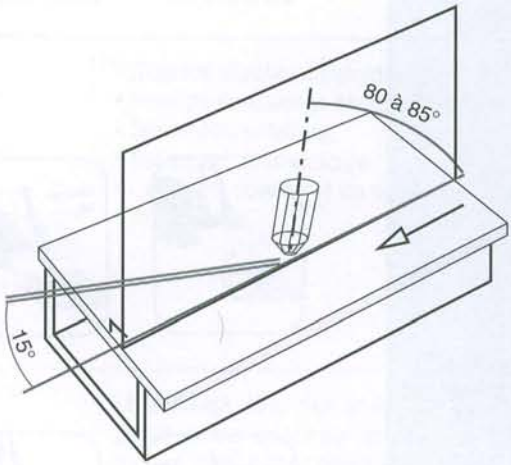
3. Pour le soudeur débutant, il est conseillé de travailler assis, avant d'exploiter le soudage en position autre que à plat.

4. Les éprouvettes sont posées sur un support du type fer U afin d'éviter la déperdition de chaleur ; l'électrode de tungstène est sortie de 3 à 5 mm (suivant le diamètre de l'électrode).

Exécution d'un cordon

- Pointer les tôles en partant du milieu et en alternant tout en se dirigeant vers les extrémités.
- La baguette de métal d'apport ne doit en aucun cas sortir de la zone gazeuse.
- À l'arrêt la torche reste en place et dirigée sur la fin du cordon ; l'arc s'éteint et le gaz continue d'assurer la protection du métal fondu pendant quelques secondes.

L'aspect du cordon est régulier et dépourvu d'oxydes. La longueur de l'arc est la plus courte possible, et la protection gazeuse à l'envers est inutile pour l'acier courant.



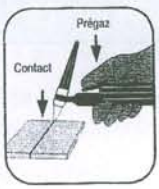
ENTRETIEN DU POSTE

1 Dépoussiérage du poste
2 Contrôler le bon état de fonctionnement des organes de réglage et le bon serrage des bornes d'alimentation
3 Vérifier le bon enclenchement des relais et circuits
4 Nettoyage complet au jet d'air, maximum 1,5 bar

Les assemblages thermiques

D'après doc. Air liquide-SAF

DISPOSITIF D'AMORÇAGE PAC SYSTEM



Définitions des différentes phases de soudage:

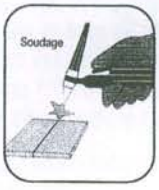
Prégaz
Purge les canalisations avant amorçage.

Courant et temps initial de soudage
Permet de préchauffer une pièce et de se positionner correctement sur le joint à souder.

Rampe de montée
Permet une montée progressive du courant de soudage.

Evanouissement de l'arc
Evite le cratère en fin de soudage et les risques de fissuration particulièrement en alliage léger.

DISPOSITIF D'AMORÇAGE HF



Courant et temps final
Permet le soudage en position, en relançant un cycle de soudage sans interruption de l'arc.

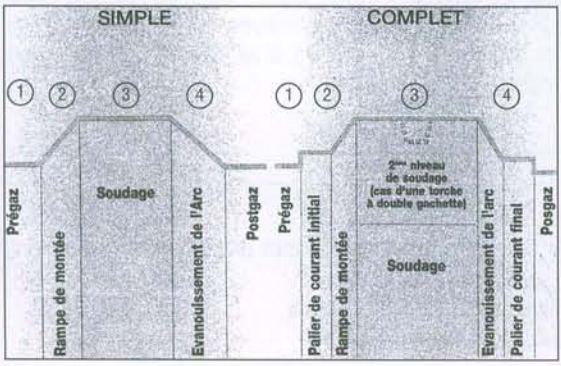
Postgaz
Protection de la pièce et de l'électrode tungstène.

Balance
Accentue, en soudage AC, la phase de pénétration ou de décapage.

Soudage pulsé
Facilite le soudage en position sur tôles fines et évite l'effondrement du bain. Permet un dépôt régulier du métal d'apport et améliore la pénétration.

Agrafage
Permet le pointage rapide des tôles avant soudage.

CYCLES DE SOUDAGE



Connexion:
Torches/générateurs TIG
Les générateurs TIG à amorçage HF sont équipés de :

- raccordement de la commande gachette : fiche 5 broches.
- raccordement central «puissance gaz» type DINSECreux.

Nota : Des intermédiaires sont prévus pour les anciennes torches.

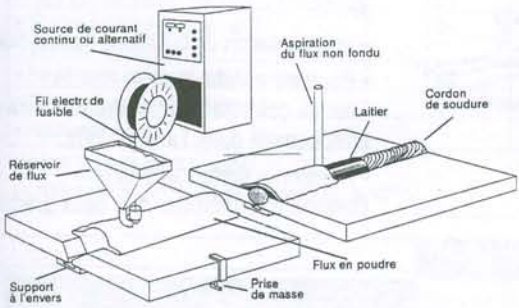
6.1.5 SOUDAGE PAR ARC SUBMERGÉ

D'après doc. SAF

PROCÉDÉ N° 121

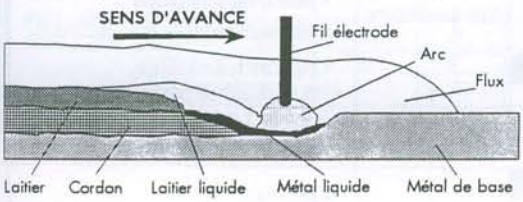
Dans ce procédé de soudage la chaleur nécessaire à la fusion est fournie par un arc qui jaillit sous un dépôt de flux en poudre entre le fil continu et les pièces à souder (No. 121) et entrebaie. Ce soudage électrique à l'arc sous flux électroconducteur est surtout utilisé sur machines automatiques.

PRINCIPE DU PROCÉDÉ



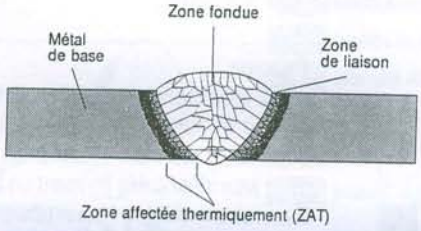
L'énergie nécessaire est produite par le passage d'un courant électrique entre électrode et pièce à souder à travers un milieu spécial constitué par un laitier résultant de la fusion d'un flux en poudre recouvrant l'extrémité du fil électrode par l'arc et par le bain de fusion.

CARACTÉRISTIQUES DE L'ARC SUBMERGÉ



- Grandes vitesses d'exécution.
- Procédé de soudage économique.
- Déformations faibles.
- Bel aspect de la soudure.
- Excellente compacité du soudage.
- Arc invisible.

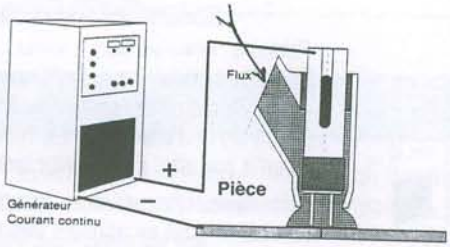
COUPE DE LA SOUDURE



Le soudage sous flux solide ne s'applique qu'aux aciers au carbone, alliés ou non ainsi qu'aux aciers inoxydables et réfractaires et ne permet pas le soudage de tôles inférieures à 18/10 d'épaisseur.

6.1.5.1 TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE DU SOUDAGE PAR ARC SUBMERGÉ

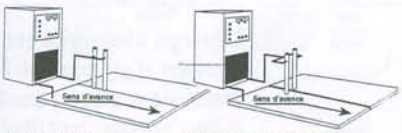
SOUDAGE BI-FILS FINS



Intensité produite par le seul générateur.
Elle est partagée par moitié sur chacun des 2 fils

Principe :
L'exécution du soudage peut se faire avec 2 fils fins de Ø 1,2, 1,6 et de 2,4 mm de polarité identique et avec un seul générateur.
L'entraînement simultané des deux fils est assuré par un seul moto-réducteur dans un dispositif unique de guidage et de prise de courant.
La mise en œuvre peut s'appliquer sur des tôles d'épaisseur ≤ à 5 mm. Elle augmente les vitesses de soudage et le poids du métal déposé.

POSITIONS DES 2 FILS SUR LE JOINT



POSITION "TANDEM" POSITION "TRANSVERSE"

Trois positions définies en fonction du but recherché :

• Position « tandem »
L'action des deux fils est successive. Il en résulte un :

– allongement de la source de chaleur le long du joint,

– augmentation de la vitesse d'exécution jusqu'à 50 %.

• Position « transverse »
Chaque colonne d'arc attaque une rive du joint sans effet cumulé dans l'axe du joint.

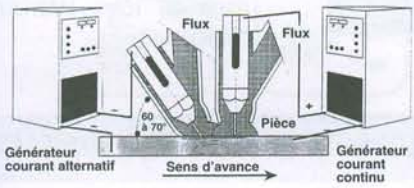
• Position « semi-transverse »
Position intermédiaire des deux précédentes.

AVANTAGES DU PROCÉDÉ SOUDAGE BI-FILS FINS

POSITION DES ÉLECTRODES	AVANTAGES (par rapport au soudage à une électrode)		INTENSITÉ
	VITESSE	DÉPÔT	
TANDEM Les électrodes sont placées dans l'alignement du joint	1,5 fois supérieure	• bain de fusion allongé • pénétration normale • élimination facile des porosités	1,5 fois supérieure
TRANSVERSALE Les électrodes sont perpendiculaires à l'axe du joint	1 fois supérieure	• bain de fusion large • possibilité de passer de joints 1 à 1,5 • pénétration diminuée	1 fois supérieure
SEMI-TRANSVERSALE Position intermédiaire des électrodes	1 fois supérieure	• résultats intermédiaires	1 fois supérieure

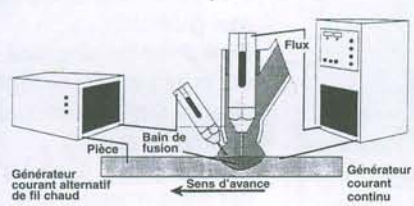
Domaine d'application : Épaisseur à souder de 1,5 à 5 mm.

SOUDAGE AVEC ARCS JUMELÉS



Principe :
Les 2 électrodes sont isolées électriquement l'une par rapport à l'autre. Chacune est connectée à une source de courant distincte (disposition en « tandem »). Les deux arcs ainsi créés forment un bain de fusion unique. Généralement l'une est verticale (ou légèrement inclinée) l'autre inclinée à 60/70° par rapport à l'horizontale dans le sens de l'avance.
Emploi : Fabrication en grande série

SOUDAGE AVEC APPORT DE FIL CHAUD



Principe :
Dans l'arc classique avec l'électrode de 3,2 ou 4 mm de diamètre, on dévide en avant du bain de fusion un fil d'apport de 1,6 mm de diamètre préchauffé par effet joule. Cette technique permet :

– de déposer jusqu'à deux fois plus de métal qu'avec un seul fil, tout en utilisant des énergies de soudage beaucoup plus faibles,

– d'augmenter le remplissage des tôles épaisses,

– d'obtenir de bonnes propriétés mécaniques.

6.1.5.2 DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE SOUDAGE PAR ARC SUBMERGÉ

COMPARAISON ENTRE LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES

	MONOFIL	ARCS JUMELÉS	BI-FILS	A.S. FIL CHAUD
• Taux de dépôt maximal	1,00	2,00	1,50	2,00
• Taux de dépôt pour une même énergie	1,00	1,20	1,05	1,80
• Vitesse de soudage maxi pour une même énergie	1,00	1,50	1,65	1,00
• Pénétration pour une même énergie	1,00	0,75	0,75	0,50
• Dureté du métal recristallisé *	1,00	1,05	1,00	-
• Résilience **		0,90	0,90	1,10

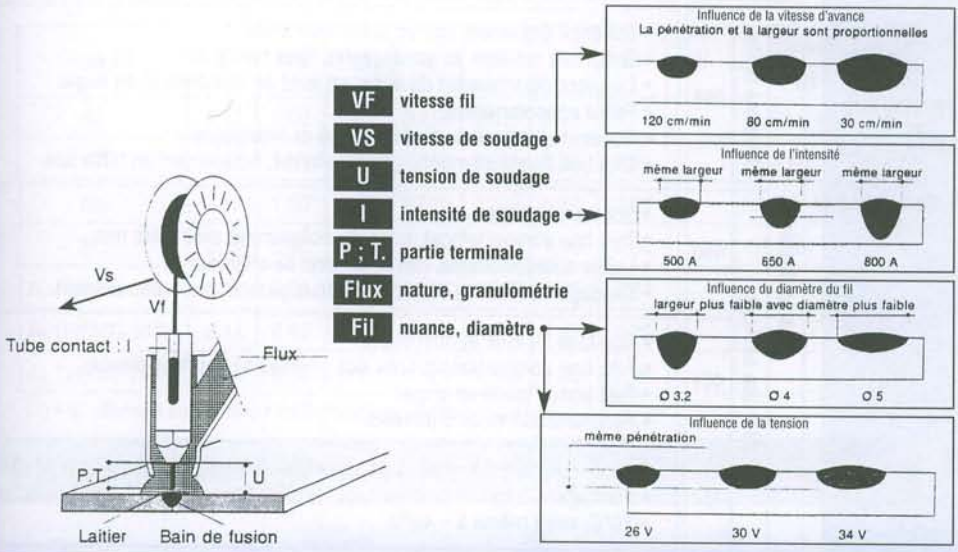
* même produits dépôt maximal

** hors dilution, avec le même couple fil/flux à -20° C.

ÉPAISSEUR DES TÔLES SOUDABLES SELON LES SUPPORTS ET LES PROCÉDÉS

Métal de base	Métal de base	MONOFIL Épaisseur mini	MONOFIL Épaisseur maxi	ARCS JUMELÉS Épaisseur mini	ARCS JUMELÉS Épaisseur maxi	BI-FILS Épaisseur mini	BI-FILS Épaisseur maxi
Acier ordinaire et acier inoxydable à plat	Latte de cuivre	2	8	4	12	13	6
	poudre	1,8	10	3	10		
	latte perdue	1,5	12-15				
	emboitement	1,2					
	support arc manuel (3 à 4 mm)	3	10				
	support arc manuel (5 à 8 mm)	10	20				
	sans support recto verso	5	20	8	40	10	40

PARAMÈTRES INFLUENÇANT LE CORDON DE SOUDURE



6.1.5.3 LES FLUX

TYPES DE FLUX

C'est l'assemblage de minéraux naturels où dominent les oxydes de manganèse et les silicates complexes de chaux, d'alumine et de manganèse.

Il existe deux types de flux :

• Les flux fondus

Ils sont traités au four électrique à arc.

- Parfaite homogénéité de composition

TYPES DE FLUX (Suite)

- Produit intrinsèquement stable
- Qualités de joint très constantes

• Les flux agglomérés

Dans un four tournant des produits minéraux et des poutres métalliques sont agglomérés à l'aide d'un liant, puis cuits à basse température.

PRINCIPAUX FLUX CRITÈRES DE CHOIX IF.EN 756/760 AWS(1)

Nuances AS			Applications générales
Flux fondus	Manganèse – silicate	50	• Soudage des aciers non alliés ou faiblement, toutes épaisseurs (tôles fines à grande vitesse,tôles moyennes en bipasse ou en multipasse, tôles fortes en multipasse). • Toutes techniques : monofil, bi-fils, arcs jumelés • Soudage à plat, en angle, en corniche. • Flux réducteur sur aciers rouillés ou effervescents. • Bonnes caractéristiques mécaniques.
		55	• Soudage à plat et en angle à très grande vitesse (4 m/min.) sur tôles minces.
	73		• Soudage bipasse des aciers résiliants. • Soudage monofil ou multi-électrodes.
	Calcium –silicate	81	• Soudage bipasse à plusieurs électrodes et à grande vitesse. • Niveau élevé des énergies de rupture pour des températures égales ou inférieures à – 40°C. • Utilisation en mono et multifils, pour des soudures monopasse, bipasse ou multipasse.
Flux agglomérés	Alumine rutile	231	• Soudage des aciers non ou faiblement alliés. • Excellente aptitude au soudage des tôles rouillées. • Excellent détachement du laitier en fond de chanfrein et en angle. • Faible consommation. • Nécessite l'utilisation d'un fil à base de manganèse. • Très bon comportement à grande vitesse, notamment en bifils fins.
	Alumine basique	450	• Soudage bipasse. • Très bon comportement en angle, notamment avec bifils fins. • Laitier autodétachable, même en fond de chanfrein. • Soudage de tôles ou de tubes en deux passes avec retournement.
		461	• Soudage bipasse et multipasse. • Très bon comportement pour des vitesses de soudage élevées. • Très bonne tenue en angle. • Recommandé en arcs jumelés.
		462	• Recommandé pour le soudage à grande vitesse en arcs jumelés en multi-électrodes. • Soudage en angle et en raboutage de tôles fines présentant de bonnes résiliences à – 20°C, voire même à – 40°C.
Flux agglomérés	Fluorure basique	589	• Flux aggloméré basique. • Soudage bipasse épaisseurs moyennes, et multipasse épaisseurs moyennes et fortes des aciers résiliants à basses températures et des aciers à haute limite élastique.
		595	• Flux aggloméré à haut niveau de basicité. • Soudage des aciers très résiliants à basses températures (-60°C, -80°C). • Soudage en multipasse.
CN 100			• Flux aggloméré pour soudage des aciers inoxydables et réfractaires. • Flux chromisant

6.1.5.4 LES FILS

NUANCES DE FILS

La gamme des fils utilisables en soudage à l'arc submergé est très étendue ; elle évolue en fonction de l'apparition de nouveaux aciers, principalement des aciers de construction à haute limite élastique.

TYPES DE FILS POUR SOUDAGE SOUS FLUX SOLIDES

Fils pour soudage des aciers au carbone et faiblement alliés

Type AS	C	Mn	Si	S	P	Mo	Ni	Autres	Classifications (1)	
									NF	AWS
26	0,10	0,50	0,05	0,015	0,015				SA 1	EL 12
35	0,10	1,00	0,05	0,015	0,015				SA 2	EM 12
36	0,12	2,00	0,05	0,010	0,010				SA 4	EH 14
37	0,12	1,50	0,25	0,010	0,010				SA 3 Si	
40	0,12	2,00	0,07	0,015	0,015	0,50			SA 4 Mo	EA 3
40A	0,10	1,00	0,05	0,015	0,015	0,50		Ti : 0,30	SA 2 Mo	EA 2
42	0,10	1,10	0,35	0,010	0,015	0,50				
61	0,10	2,00	0,05	0,010	0,015	0,50	0,50		SA 4 Mo Ni 0,5	

(1) • NF (Normes Françaises) • AWS (American Welding Society)

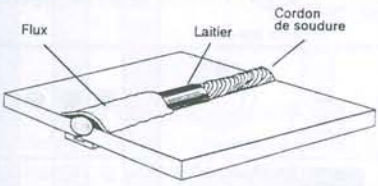
Fils pour soudage des aciers résistants au fluage

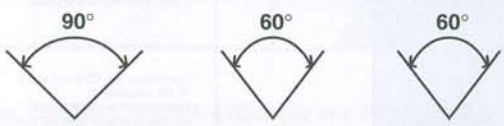
Type AS	C	Mn	Si	S	P	Mo	Cr	Ni	Classifications (1)	
									NF	AWS
40	0,12	2,00	0,07	0,015	0,015	0,50			SA 4 Mo	EA3
61	0,10	2,00	0,05	0,010	0,015	0,50	0,50		SA 4 Mo Ni 1,5	
126	0,10	1,00	0,10	0,010	0,010	0,50	0,50		SA 2 Cr Mo 1,5	
271	0,10	0,90	0,10	0,010	0,010	1,00	2,60		SA 2 Cr Mo 2	
AL CHRMO 225	0,11	0,50	0,02	0,003	0,007	1,06	2,70			
AL CHRMO 300V	0,11	0,60	0,13	0,001	0,005	1,05	2,70			
AL CHRMO 225V	0,11	0,50	0,12	0,001	0,006	1,00	2,90			

(1) • NF (Normes Françaises) • AWS (American Welding Society

6.1.5.5 INFLUENCES DES DIFFÉRENTS FACTEURS SUR LA TENUE DU LAITIER

ANGLE DU CHANFREIN





Détachement du laitier toujours aisé

Détachement du laitier moins aisé

Détachement plus délicat

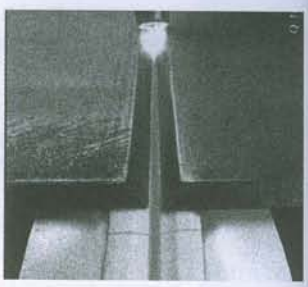
AVANTAGES

Si on observe les précautions de mise en œuvre définies par le constructeur du matériel et le fournisseur des consommables, les cordons réalisés sous flux solide en soudage automatique sont très sains et réguliers.

6.2. LES SUPPORTS EN CÉRAMIQUE

PRINCIPE D'UTILISATION

L'utilisation des supports en céramique à haut point de fusion et de caractère neutre vis à vis du métal fondu, permet d'obtenir des résultats satisfaisants au niveau de la compacité et de la soudabilité opératoire. Le rôle de support de bain de fusion joue à plein et facilite la réalisation du cordon de pénétration dans toutes les positions de soudage. Ces supports facilitent ainsi le soudage avec pénétration sans effondrement.



AVANTAGES DES SUPPORTS

– Suppression des opérations de gougeage, meulage et reprise de la racine de la soudure.
– Possibilité de réaliser des assemblages à pénétration totale sans retournement de pièce.
– Utilisation des procédés à haut taux de dépôt de métal pour réaliser la première passe.
– Simplification du chanfreinage par suppression des talons.

APPLICATION

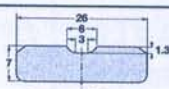
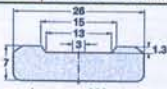
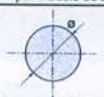
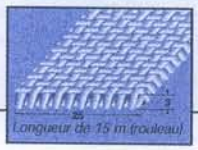
• La mise en œuvre des supports ne demande aucune préparation particulière ; seules les surfaces d'application des rubans adhésifs doivent être exemptes de graisse, d'huile, de rouille.

• Les lattes s'ajustent les unes dans les autres.

QUALITÉS DE CÉRAMIQUE

Suivant l'application et le type de soudure à réaliser, on choisira le support céramique le mieux adapté. Une consultation des fournisseurs des produits de soudure est recommandée.

TYPES DE SUPPORTS EN CÉRAMIQUE (Exemple SAF)

Désignation Référence Application	Profils Dimensions en mm (La bande adhésive n'est pas représentée sur les dessins ci-dessous.)	Fil fourré avec laitier	Fil fourré sans laitier	TIG	MIG MAG	Arc submergé
• Soudage à plat ou circulaire sur acier, acier inoxydable et aluminium. • Latte céramique adhésive.	 Longueur 600 mm articulé par module de 25 mm		●	●	●	
• Assemblages des tôles en construction navale et en chaudronnerie. • Soudures à forte pénétration. • Latte céramique adhésive.	 Longueur 600 mm articulé par module de 25 mm	●				●
• Soudage des tôles en angle pénétré : joints X-Y-K et T. • Latte céramique adhésive.	 Longueur 600 mm	●	●	●	●	●
• Complexe de fibre de verre et de céramique. • Latte extrêmement souple permettant tout type de profil.	Longueur 450 mm		●	●	●	
• Bande de fibre de verre tressée sur un adhésif en aluminium. • Limitée en énergie de soudage.	 Longueur de 15 m (rouleau)	●	●	●	●	

6.3 IDENTIFICATION DES BOUTEILLES DE GAZ

Règle générale suivant norme NF en 1089.3
4 couleurs

- Inerte / Asphyxiant
- Toxique et/ ou corrosif
- Inflammable
- Oxydant

Désignation gaz ou mélange	Couleur normalisée	Ancienne couleur de l'ogive	Nouvelle couleur de l'ogive
Oxygène O_2	Blanc		
Acétylène C_2H_2	Havane		
Propane C_3H_8	Rouge		
Tétrène Spécifique air liquide	Rouge		
Argon Ar	Vert foncé		
Argon / CO_2 Ar / CO2	Vert clair		
Anhydrite carbonique CO_2	Gris		
Hélium He	Gris foncé		
Azote N	Noir		
Argon / Hélium Ar / He	Vert clair		

En plus des teintes normalisées des ogives, les bouteilles sont identifiées par une étiquette informative permettant une interprétation du contenu.
Défini par la norme NF en 1089

Voir document en couleurs en début d'ouvrage

7. DOCUMENTS DE TRAVAIL

7.1. GAMME DE SOUDAGE • DESCRIPTIF D'UN MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE

Même si les documents sont généralement établis par le bureau des méthodes, le soudeur doit être à même d'appréhender la réalisation d'une gamme de soudage et/ou d'un DMOS (simplifié).

GAMME DE SOUDAGE

La gamme de soudage, établie par un soudeur, contient tous les renseignements utiles à l'ordonnancement et au montage-soudage de l'assemblage à réaliser :

– Les phases de pointage, d'accrochage et de soudage sont ordonnées chronologiquement en tenant compte des facteurs d'antériorités.

– Les schémas et croquis des joints d'assemblage sont clairs et précis et permettent une interprétation sans équivoque.

– Tous les renseignements concernant le procédé de soudage utilisé, les paramètres utiles et les produits d'apport utilisés.

DESCRIPTIF D'UN MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE

Le D.M.O.S[1] (simplifié) contient tous les renseignements concernant la mise en application d'un procédé sur chaque joint d'assemblage :

– La société, le lieu, le N° de référence du DMOS, le N° du procès verbal du Q M O S[2], l'identité du soudeur, l'organisme de contrôle ou d'inspection.

– Le joint d'assemblage : procédé, type de joint, préparation, matériau, position de soudage, disposition et ordonnancement des passes.

– Les paramètres de soudage concernant la ou les passes à exécuter.

– Les métaux d'apport : nature, diamètre, codification, étuvage éventuel, protection gazeuse, flux.

– L'indication portant sur les traitements thermiques éventuels : **avec** ou **sans**

[1] DMOS = Descriptif du Mode Opératoire de Soudage

[2] QMOS = Qualification du Mode Opératoire de Soudage

Voir ci-après les exemples proposés d'une gamme de soudage et de DMOS concernant la réalisation d'un assemblage soudé d'un élément de tuyauterie.

7.1.1. PROCESSUS DE RÉALISATION D'UN ASSEMBLAGE SOUDÉ

Le document est généralement établi par le bureau des méthodes. Sur ce document figurent tou les renseignements utiles à l'ordonnancement et au montage de l'assemblage à souder.
Les phases de pointage et de soudage sont ordonnées chronologiquement sur la gamme e tenant compte des facteurs d'antériorité

CONTENU DE LA GAMME DE SOUDAGE

• INFORMATIONS GÉNÉRALES ET D'IDENTIFICATION

1 • Désignation de l'assemblage soudé ou titre de l'exercice.

2 • Procédé de soudage utilisé.

3 • Matière d'œuvre des éléments de base.

4 • Croquis rappel de l'assemblage, éventuellement coté.

• INFORMATIONS RELATIVES A L'ORDONNANCEMENT DES PHASES

5 • Colonne de repérage des phases.

6 • Colonne « pointage » avec indication des N° Rep des éléments à pointer.

7 • Colonne « soudage » avec indication des N° Rep des éléments à souder

• ESPACE CROQUIS ET INFORMATIONS

8 • Les croquis de détail des joints d'assemblage sont réalisés avec soin et comportent toutes les indications nécessaires à la bonne réalisation de l'assemblage en tenant compte des éventuels éléments de contrainte qui peuvent apparaître sur le plan :
– Détail du joint d'assemblage,
– Repérage des éléments,
– Epaisseur, diamètre,
– Symbolisation normalisée du cordon.
– Le type d'assemblage :
plaque ou/et tube : « P » « T »
bout à bout, en angle « BW » « FW »
– La position de soudage
– Les contraintes éventuelles de forme et de position.

• INFORMATIONS SUR LES PRODUITS D'APPORT, MOYENS DE PROTECTION ET LEURS UTILISATIONS

9 • Désignations : du métal d'apport, des gaz ou flux utilisés.
– Electrode ou fil : type, désignations commerciales et/ou normalisées, normes « EN » ou internationale « AWS ».
– Type d'électrode réfractaire en soudage TIG.

10 • Colonne diamètre du métal d'apport, des électrodes, du fil et/ou de l'électrode TIG

11 • Colonne plage d'intensité moyenne

• INFORMATIONS RELATIVES AUX CONTRÔLES À RÉALISER AVANT, PENDANT ET APRÈS LES OPÉRATIONS D'ASSEMBLAGE.

12 • Contrôles AV soudage
– Exemples : préparation des bords, rectitude, planéité, propreté des éléments « CCPU ».
– Contrôle des paramètres des matériels utilisés U, I, V, polarité, débits gaz.
– T° de préchauffage si nécessaire.

13 • Contrôle pendant le soudage.
– T° maxi, mini.
– Contrôle visuel des résultats obtenus. entre les passes successives.
– Contrôle du gougeage entre passes.
– Contrôle par ressuage si indications.

14 • Contrôles après soudage
– Contrôle de la vitesse de refroidissement
– Contrôle visuel des résultats obtenus, d'après normes* et règlements imposés.
– Contrôle par ressuage si indications.

* Voir Normes ; ISO 6520, ISO 5817

7.1.2. DOCUMENT DE TRAVAIL

MODÈLE DE GRILLE FORMAT A3

PROCESSUS DE REALISATION D'ASSEMBLAGE SOUDÉ

1 _____

2 _____ 3 _____

4

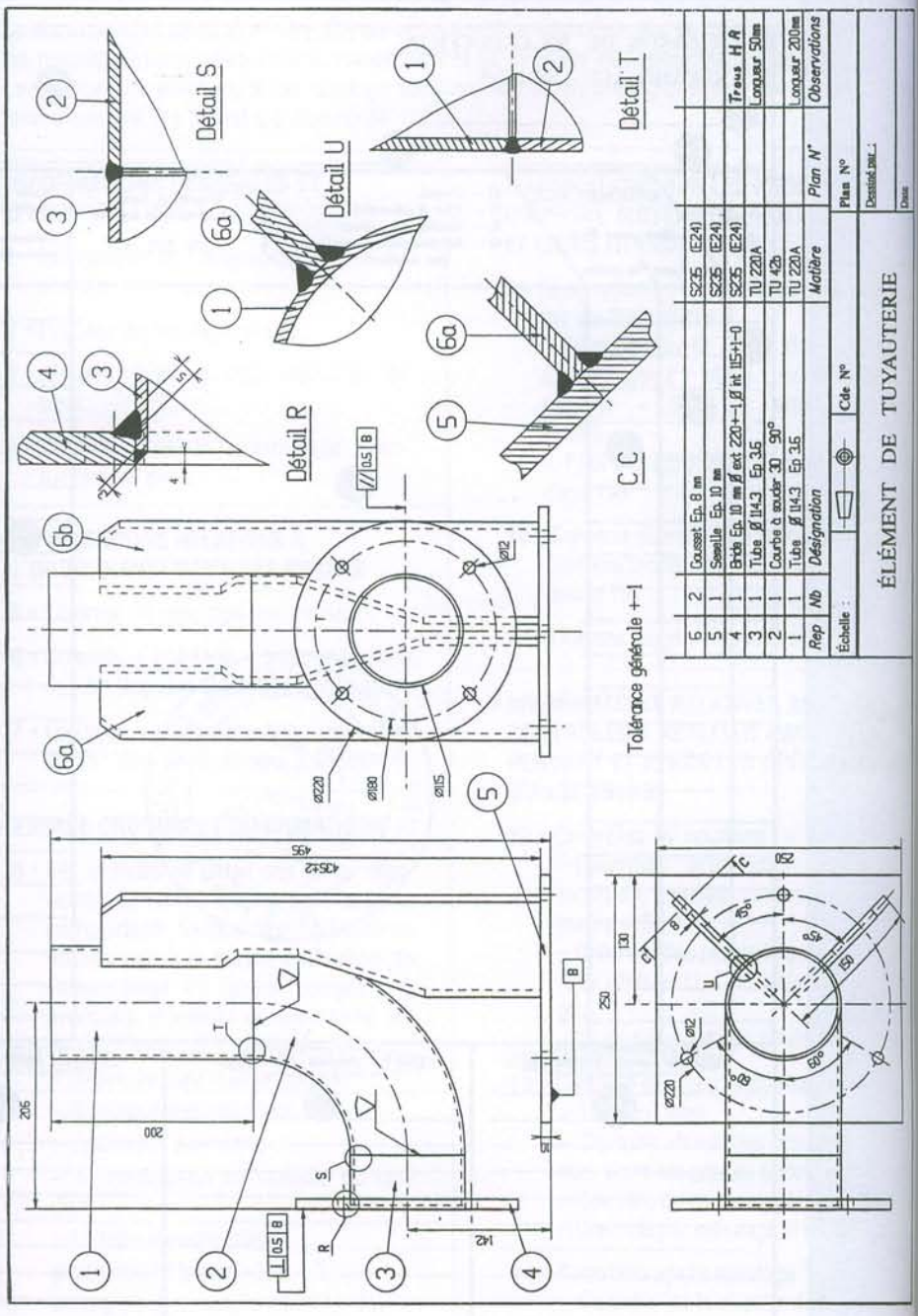
PHASE	ASSEMBLAGE Rep avec Rep — POINTAGE / SOUDAGE	1) — Croquis 2) — Type d'assemblage 3) — Position de soudage 4) — Représentation symbolique des soudures	D'après la norme actuellement en vigueur EN 287.1	Choix de l'électrode — Désignation commerciale	Ø de l'électrode	Intensité moyenne d'utilisation. Polarité
5	6	7	8	9	10	11

Ministère de l'Education et de la Formation
Centre Sectoriel de Formation en Mécanique de Bou Cédria
71.421.570
A.T.F.P

Contrôle avant l'assemblage	Contrôle pendant l'assemblage	Contrôle après l'assemblage
12	13	14

EXEMPLE DE RÉALISATION PROPOSÉE

Dessin de définition des éléments soudés


Détail S
Détail U
Détail T
Détail R
C C
Tolérance générale +-1
6 2 Gousset Ep. 8 mm S235 (E24)
5 1 Semelle Ep. 10 mm S235 (E24)
4 1 Bride Ep. 10 mm Ø ext. 220+-1 Ø int. 115+1-0 S235 (E24) Trous H A
3 1 Tube Ø 114.3 Ep. 3.6 TU 220A Longueur 50mm
2 1 Courbe à souder 30° 90° TU 42b
1 1 Tube Ø 114.3 Ep. 3.6 TU 220A Longueur 200mm
Rep Nb Désignation Matière Plan N° Observations
Échelle : Cde N° Plan N°
ÉLÉMENT DE TUYAUTERIE
Dessiné par :
Date

7.1.3. « EXEMPLE D'APPLICATION »

DOCUMENT À ÉTABLIR

Gamme de soudage à compléter par le soudeur, concernant l'assemblage de l'élément de tuyauterie avec support.

Indications complémentaires : (*Imposées au candidat*)

- Passes de pénétration sur tubes Rep 1. 2. 3 réalisées en procédé 141.
- Passes de remplissage sur tubes en procédé 111 Basique.
- Soudage des Rep 5 avec 6a, 6b procédé 111 B.
- Soudage des Rep 1 avec 6a, 6b procédé 111 B, soudage en montant.

PROCESSUS DE REALISATION D'ASSEMBLAGE SOUDÉ

ELEMENT DE TUYAUTERIE AVEC SUPPORT

Procédé 111 et 141 — *Acier S 235* / *Tube TU 37 B*

PHASE	ASSEMBLAGE Rep avec Rep — POINTAGE	SOUDAGE	1) — Croquis 2) — Type d'assemblage 3) — Position de soudage 4) — Représentation symbolique des soudures — D'après la norme actuellement en vigueur EN 287.1	Choix de l'électrode — Désignation commerciale	Ø de l'électrode	Intensité moyenne d'utilisation. Polarité
10	3 et 2		T. BW PA — 2, V 4x8, 141, 3, 2 a 2,5	Electrode Tungstène cérium	Ø2,4	95
				M.A. Nertal 60		
				NF EN 440 G 5.2	Ø 2	
20		3 et 2	T. BW PA — 141, 111B	Nertal 60	Ø2,4	90
				Electrode basique	Ø3,15	95 +
				Selectarc BSC E 42.4.B.3H5		
				EN 499		
30	1 et 2		T. BW PA — 141, 4x8 V, 2, 1, 2 a 2,5	IDEM Ph 10		
40		1 et 2	T. BW PA — 141, 111B, V	IDEM Ph 20	3,15	95 +
50	6a-6b et 5		P. FW PB — 6, 5, a3 2x15 a3 2x15, 111	IDEM	3,15	105 +
60		6a 6b et 5	P. FW PA — a 5 a 5, 111	IDEM	4	130 +

PHASE	ASSEMBLAGE Rep avec Rep — POINTAGE	ASSEMBLAGE Rep avec Rep — SOUDAGE	1) — Croquis 2) — Type d'assemblage 3) — Position de soudage 4) — Représentation symbolique des soudures — D'après la norme actuellement en vigueur EN 287.1	Choix de l'électrode — Désignation commerciale	Ø de l'électrode	Intensité moyenne d'utilisation. Polarité
70			P/T FW PB	Basique		
	4 et 3			Norme		
				"EN 499		
				E 42.4.B.32.H.5	2,5	85 +
				"AWS"		
				7018-		
80			P/T FW PA	IDEM		
		4 et 3			4	125 +
					2,5	80 +
90			P.FW PF	IDEM		
	1 et 6a 6b				2,5	75 +
100			P.FW PF	IDEM		
		1 et 6a-6b			3,15	100 +

Contrôle avant l'assemblage

Ph 10 Contrôle de la préparation des bords, chanfreinage, accostage des bords.
Etuvage des électrodes.
Ph 20 — 30 — 40 idem.
Ph 50 Planéité des tôles.
⊥ des deux bords soudés des Rep 6a et 6b
Ph 70 Conformité bride — repérage trous H.A
⊥ entre Rep 4 et Rep 3 — cote 206
Ph 90 ⊥ -0.5→ B cote 142

Contrôle pendant l'assemblage

Ph 10 Pénétration des points.
Ph 20 Pénétration, épaisseur du cordon.
Ph 30 Pénétration des points.
Ph 40 Pénétration, épaisseur du cordon.
Ph 50 ⊥ entre Rep 5 et Rep 6a et 6b.
Ph 60 Épaisseur de la gorge.
Ph 70 Répartition des points.
Ph 80 Meulage des points (4x10), après soudage extérieur bride
Ph 90 Réglage des paramètres de soudage (PF)
Ph100 Contrôle de la gorge a4 en PF

Contrôle après l'assemblage

Cote 142 et 206
Planéité Rep 5
Planéité Rep 4 et perpendicularité
Recherche des défauts éventuels et contrôle de leur niveau d'acceptabilité
Contrôle de l'affleurement du cordon sur le plan de la bride

7.2 MODÈLE NORMALISÉ D'UN DESCRIPTIF DE MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE (DMOS)

L'annexe A constitue un modèle issu de la norme EN 288 destiné à aider le soudeur dans la rédaction d'un Descriptif de Mode Opératoire de Soudage (DMOS) du constructeur ou du fabricant (voir document ci-dessous et celui de l'Établissement Coquant).

DOCUMENT À ÉTABLIR

Annexe A (Suite)

Descriptif de mode opératoire de soudage du contructeur ou du fabricant (DMOS)

Lieu : .....
DMOS référence N° : .....
PV-QMOS N° : .....
Constructeur ou Fabricant : .....
Nom du soudeur : .....
Procédé de soudage : .....
Type de joint : .....
Détails de préparation de joint (Schéma)* : .....

EXAMINATEUR OU ORGANISME D'INSPECTION : .....
Méthode de préparation et nettoyage : .....
Spécification matériau de base : .....
Epaisseur du matériau de base (mm) : .....
Diamètre du matériau de base (mm) : .....
Position de soudage de l'assemblage : .....

Schéma de préparation	Disposition des passes

Paramètres de soudage :

Passe n°	Procédé	Dimension métal d'apport	Courant A	Voltage V	Type de courant Polarité	Alimentation en fil Vitesse d'avance*	Energie de soudage *

Métal d'apport : codification : .....
marque et type : .....
Reprise spéciale ou séchage : .....
Gaz de protection/flux : endroit : .....
envers : .....
Débit de gaz - endroit : .....
envers : .....
Type d'électrode de tungstène/Dimension : .....
Détails de gougeage ou du support envers : .....
Température de préchauffage : .....
Température entrepasses : .....
Traitement thermique après soudage ou vieillissement : .....
Temps, Température, Méthode : .....
Vitesses de montée en température et de refroidissement* : .....
L'assemblage de qualification décrit ci-dessus a été soudé en présence de : .....

Autres Informations : .....
par ex. : balayage (largeur maximale) oscillation,: .....
* Fréquence, Temporisation : .....
* Soudage pulsé détails : .....
* Distance de maintien : .....
* Détail du plasma : .....
* Angle de torche : .....

Constructeur ou fabricant
Nom, date et signature

Examinateur ou organisme d'inspection
Nom, date et signature :

Si nécessaire

7.3. APPLICATION DU DESCRIPTIF DE MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE (DMOS)

DOCUMENT À ÉTABLIR

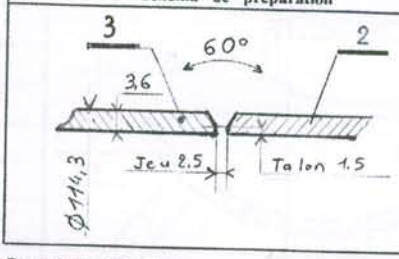
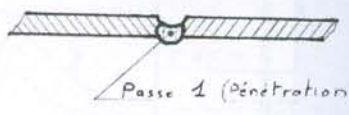
Document type, « **DMOS** » à compléter par le soudeur, concernant le joint d'assemblage du Rep 2 avec le Rep **3**, passe de pénétration en procédé **141**.

Ce type de document peut aussi être réalisé à l'aide de logiciels spécialisés

Descriptif de mode opératoire de soudage du constructeur ou du fabricant (DMOS)

Lieu :
DMOS référence N° : 001 - 01.1
PV-QMOS N° :
Constructeur ou fabricant :
NOM du soudeur : DUPONT
Procédé de soudage : 141
Type de joint : BW
Détails de préparation de joint (voir schéma) :

EXAMINATEUR OU ORGANISME D'INSPECTION : Interne
Méthode préparation et nettoyage : Sciage - Chanfreinage
Meulage - dégraissage
Spécification du matériau de base : W01
Epaisseur du matériau de base (mm) : 3,6
Diamètre du matériau de base (mm) : 114,3
Position de soudage de l'assemblage : PA

Schéma de préparation	Disposition des passes
	

Paramètres de soudage :

Passe N°	Procédé	Dimension métal d'apport	Courant A	Tension V	Type de courant Polarité	Alimentation en fil Vitesse d'avance	Energie de soudage
1	141	Ø2,4	90	/	= −	/	/

Métal d'apport, codification : NF EN 440 : G S 2
marque et type : SAF Nertal 60
Reprise spéciale ou séchage : /
Gaz de protection/flux ; endroit : Argon
envers :
Débit de gaz ; endroit : 9 l
envers :
Type d'électrode de tungstène/dimension : Ø2,4
Détail de gougeage ou du support envers : sans
Température de préchauffage : /
Température entre passes : /
Traitement thermique après soudage ou vieillissement : /
Temps, température, méthode : /
Vitesse de montée en température et de refroidissement : /

Autres informations : Pénétration totale
Passe suivante voir DMOS 001.01.2
par ex : (balayage, largeur maximale) oscillation : /
Fréquence, temporisation : /
Soudage pulsé détails : /
Distance de maintien : /
Détail du plasma : /
Angle de torche : /

DOCUMENT À ÉTABLIR

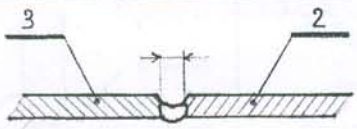
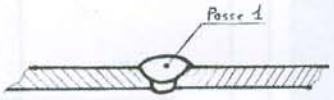
Document type, « **DMOS** » à compléter par le soudeur, concernant les joints d'assemblage du Rep **2** avec les Rep **3**, passe de remplissage en procédé **111**.

Ce type de document peut aussi être réalisé à l'aide de logiciels spécialisés.

Descriptif de mode opératoire de soudage du constructeur ou du fabricant (DMOS)

Lieu :
DMOS référence N° : 001 01.2
PV-QMOS N° :
Constructeur ou fabricant :
NOM du soudeur : MARTIN
Procédé de soudage : 111
Type de joint : T . BW
Détails de préparation de joint (voir schéma) :

EXAMINATEUR OU ORGANISME D'INSPECTION : Interne
Méthode préparation et nettoyage : Gougeage par meulage .
Spécification du matériau de base : W 01
Epaisseur du matériau de base (mm) : 3,6
Diamètre du matériau de base (mm) : 114,3
Position de soudage de l'assemblage : PA

Schéma de préparation	Disposition des passes
	

Paramètres de soudage :

Passe N°	Procédé	Dimension métal d'apport	Courant A	Tension V	Type de courant Polarité	Alimentation en fil Vitesse d'avance	Energie de soudage
1	111	Ø 3,15	95	/	= +	/	/

Métal d'apport, codification : EN 499 : E 42.4.B.32.H.5
marque et type : Selectarc B 56
Reprise spéciale ou séchage : 2h à 200°
Gaz de protection/flux ; endroit : Nor
envers : /
Débit de gaz ; endroit : /
envers : /
Type d'électrode de tungstène/dimension : /
Détail de gougeage ou du support envers : /
Température de préchauffage : /
Température entre passes : /
Traitement thermique après soudage ou vieillissement : /
Temps, température, méthode : /
Vitesse de montée en température et de refroidissement : /

Autres informations : Passe de pénétration voir DMOS 001.01.1
par ex : (balayage, largeur maximale) oscillation : /
Fréquence, temporisation : /
Soudage pulsé détails : /
Distance de maintien : /
Détail du plasma : /
Angle de torche :

DOCUMENT À ÉTABLIR

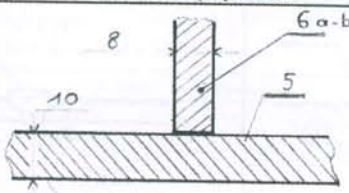
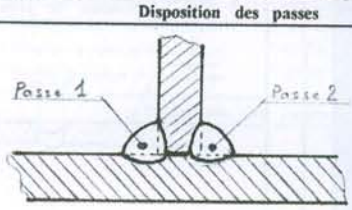
Document type, « DMOS » à compléter par le soudeur, concernant les joints d'assemblage du Rep 5 avec les Rep 6a et 6b, en procédé 111.

Ce type de document peut aussi être réalisé à l'aide de logiciels spécialisés.

Descriptif de mode opératoire de soudage
du constructeur ou du fabricant (DMOS)

Lieu :
DMOS référence N° : 001-02
PV-QMOS N° :
Constructeur ou fabricant :
NOM du soudeur : MARTIN
Procédé de soudage : 111 B
Type de joint : P - FW
Détails de préparation de joint (voir schéma) :

EXAMINATEUR OU ORGANISME D'INSPECTION : Interne
Méthode préparation et nettoyage : Cisaillage Meulage - Dégraissage
Spécification du matériau de base : W01
Epaisseur du matériau de base (mm) : 8 - 10
Diamètre du matériau de base (mm) :
Position de soudage de l'assemblage : P. A

Schéma de préparation	Disposition des passes
	

Paramètres de soudage :

Passe N°	Procédé	Dimension métal d'apport	Courant A	Tension V	Type de courant Polarité	Alimentation en fil Vitesse d'avance	Energie de soudage
1	111	Ø 4	140		= +		
2	111	Ø 4	140		= +		

Métal d'apport, codification : EN439 : E 42.4.B.32 H5
marque et type : Selectarc B56
Reprise spéciale ou séchage : 2h à 200°
Gaz de protection/flux ; endroit : NON
envers :
Débit de gaz ; endroit :
envers :
Type d'électrode de tungstène/dimension :
Détail de gougeage ou du support envers :
Température de préchauffage :
Température entre passes :
Traitement thermique après soudage ou vieillissement : NON
Temps, température, méthode :
Vitesse de montée en température et de refroidissement :

Autres informations :
par ex : (balayage, largeur maximale) oscillation :
Fréquence, temporisation :
Soudage pulsé détails :
Distance de maintien :
Détail du plasma :
Angle de torche :

8. LA QUALIFICATION D'UN MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE (Q.M.O.S.)

Ce dossier complet établi par l'entreprise Coquant constitue un document essentiel qui certifie que le Descriptif du Mode Opératoire de Soudage présenté suivant le DMOS préliminaire (DMOSP) a donné des résultats conformes aux exigences de la masse NF EN 288. Il devient après contrôle le QMOS de référence qui sert de pièces justificatives pour l'exécution des travaux.

QMOS D'UNE ENTREPRISE

COQUANT
1 1 FEV. 1999
59261 WAHAGNIES

CAQ 0520-94 – Rév 1 1/4

AQUAP
ASSOCIATION POUR LA QUALITÉ DES APPAREILS À PRESSION

QUALIFICATION D'UN MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE

TE11B

Suivant NF EN 288-3 | A1

PROCÈS VERBAL

Délivré au constructeur ou fabricant : COQUANT

à la suite de l'exécution d'un assemblage d'essai effectué

le : 21.01.99 à : WAHAGNIES

en présence de M. : J. DEUZE

appartenant à l'organisme d'inspection :

Groupement des APAVE

Il a été remis au demandeur un original et un duplicata de ce P. V.

lequel certifie que le mode opératoire de soudage présenté suivant le descriptif de mode opératoire préliminaire (DMOSP) en annexe établi par le constructeur ou le fabricant a donné des résultats conformes aux exigences de la norme NF EN 288-3 Edition 92.

Procès-verbal établi le : 08.02.99

Sous la référence (PV QMOS N°) : 9135-02-EN.

Nom et signature de la personne autorisée et cachet de l'organisme d'inspection :

GAPAVE PRESSION
apave
Agence de LILLE
51, Av de l'Architecte Cordonnier
B.P. 247 59019 LILLE Cedex
Tél. 20 42 76 42 Fax 20 40 20 26

99 1042 5023L

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

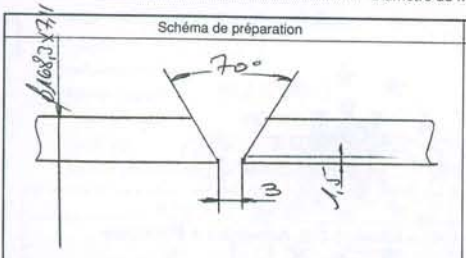
PV. QMOS N° : 9135-02-EN

CAQ 0520-94 – Rév : 1 — 2/4

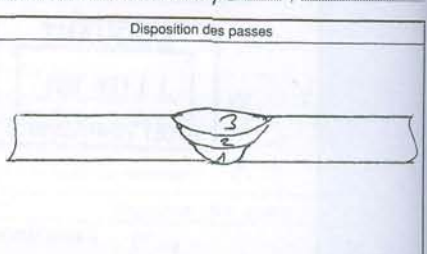
I. DESCRIPTIF DU MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE DU CONSTRUCTEUR OU DU FABRICANT : PARAMÈTRES RELEVÉS LORS DE L'ESSAI

		Nuance 1	Nuance 2
DMOSP N° : T211B	Spécification matériau de base	TUE250 NFA49211	P
Type de joint : BW	N° coulée	70482	
Méthode de préparation et nettoyage : USINAGE MEULAGE	Groupe de matériau :	1	
	Epaisseur du matériau de base (mm) :	7,1	
	Diamètre du matériau de base (mm) :	168,3	

Schéma de préparation



Disposition des passes



	1	2	3
N° des passes :			
Procédé de soudage :	141	111	111
Position de soudage :	PA	PA	PA
Soudage auto. nb. de têtes			
balayage*			
fréquence oscillations			
temporisation			
Soudeur ou soudeur opérateur :	DUMARAIS M. 3		
Produit d'apport : Fil (F) ou Électrode (E)	F) OES62	E) NF S10A	
• Codification (Désignation normalisée) :	ER70S6	E 423 B32H5	
• Marque et type :	OERLIKON	SAF B	
• Diamètre :	2	2,5	3,2
• Conservation ou étuvage :		200°	12h00
Gaz de protection – flux			
• Pulvérulent - codification (Dés. norma.) :			
- marque et type :			
• Gazeux - codification (Dés. norma.) :	I1 ARGON		
- marque et type : AL	Linde		
• Envers - débit l/min. : ARGON	3		
• Endroit - débit l/min. :	10		
• Plasmagène :			
Électrode réfractaire/ type et diamètre :	WT 2		
Nature du courant :	D-C	DC	DC
Polarité de l'électrode ou du fil :	-	+	+
Intensité I en Ampères :	120	80	125
Tension U en Volts :			
Soudage pulsé :			
Vitesse d'exécution V d'une passe : cm/min.			
Vitesse de déroulement du fil : cm/min.			
Énergie en Joules / cm = $\frac{U \times I \times 60}{V \text{ en cm/min.}}$			
T° mini. préchauffage en °C			
T° maxi. entre passes en °C		250°C	
Matériel de soudage - Machine			
- Poste	Thycisaf 324	SAFEX C2	
Support envers (nature) :			
Gougeage (nature) :			

Post chauffage : Non ☒ Oui ☐ Température °C : ..... Durée du maintien : .....

Traitement thermique après soudage : Non ☒ Oui ☐ Réf. : ..... Vitesse de montée en température en °C/h : .....

Température max en °C et durée du maintien : ..... Vitesse de refroidissement en °C/h : ..... de ..... à .....

..... de ..... à .....

AUTRES INFORMATIONS : .....

*balayage (largeur maximale) oscillation : .....

Fréquence, temporisation : ..... Soudage pulsé détails : .....

Angle de torche : ..... Distance de maintien : ..... Détail du plasma : .....

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

COQUANT
59263 WAHAGNIES FRANCE

D.M.O.S - P

Descriptif de mode operatoire de soudage preliminaire.

CM 54 / 38

Page: 1

SPECIFICATION: EN 288-3 — DMOS-P; N° TE11B

Base metals MATERIAUX DE BASE	Specifications NORMES	Main characteristics CARACTERISTIQUES PRINCIPALES
TUE 250B	NFA 49211	Acier carbone non allié

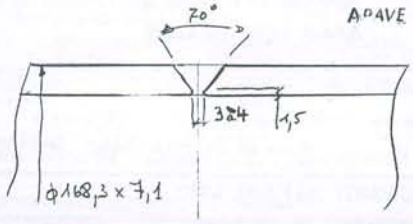
Filler metals PRODUITS D'APPORT	Specifications NORMES	Trade mark MARQUE	Type TYPE	Nb of share N° DE LOT	Ø	Weld layers N° DES PASSES
Fil TIG	ER 70S6	Oerlikon	OES 62	01395	2	1
Electrodes	E7018	SAF	NF 510 A	1000498	2,5	2
				1000550	3,2	3

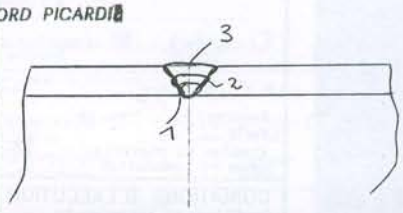
Weld seam details: oxycutting-plasma-shearing-grinding
PREPARATION DES BORDS: Oxycoupage-plasma-cisaillage-meulage

Joints of welding:
APPARENCE DES COUCHES:

Soudure circulaire

ANNEXE N° 1
A NOTRE CERTIFICAT N° 9135-08-EN.
APAVE NORD PICARDIE





ETUVAGE: Oui 200 °C PENDANT 2 HEURES
Heating of filler metal — During — Hours

REPRISE ENVERS: NON
Reverse retaked

TTAS: /
PWHT

PRECHAUFFAGE: / °C
Preheat

TEMP.ENTRE PASSES: ≤ 250 °C
Inter pass temp

TEMP.DE MAINTIEN: / °C
Preheat maintenance

POST.CHAUFFAGE: / °C / h
Postheat

		1	2	3		
IDENTIFICATION DES PASSES-Nb of layers.		1	2	3		
PROCEDE DE SOUDAGE-Welding process.		141	111	111		
POSITION DE SOUDAGE-welding position.		PA	PA	PA		
POLARITE DE L'ELECTRODE.Polarity.		—	+	+		
NATURE DU COURANT-Sort of current AC-DC		DC	DC	DC		
DIAMETRE-Diameter. Ø		2	2,5	3,2		
INTENSITE (A)-Amp range		120 ± 10	80 ± 10	125 ± 10		
TENSION (V)-Volt range.		11 ± 1				
VITESSE DE Sdg-Welding speed. cm/min		/				
VITESSE FIL-Electrode wire speed(cm/min)		/				
GAZ DE PROTECTION ENDROIT Shielding gas	NATURE-sort	Argon				
	DEBIT L/min	10				
GAZ DE PROTECTION ENVERS Gas backing	NATURE-sort	Argon				
	DEBIT L/min	3				
EQUIPEMENT DE SOUDAGE-Welding machine.		Thyrisef 320S	SaFex C2	SaFex C2		

Welder's/operateur's name
Nom du soudeur/operateur: DUMARAIS Michel

Stamp N°
N° d'identification: 3

CONTROLE-Inspection

RADIO-Radiography	PV N° ETC 99 E18.01/1	~~MICROGRAPHIE~~	PV N° /
CONTROLE VISUEL.Visual inspect	PV N° VS 99.09	~~DURETE.Hardness~~	PV N° /
ESSAIS MECA.Meca trials	PV N° ED 99.04 (1/2)	~~ANALYSE CHIMIQUE~~	PV N° /
MACROGRAPHIE	PV N° ED 99.04 (1/2)	AUTRE.Other Ressuage	PV N° PT 99.09

CONSTRUCTEUR-Manufacturer			ORGANISME D'INSPECTION-Inspecting organization		
NOM: S.S	DATE: 8 / 1 / 99	VISA:	NOM: Deros J.	DATE: / /	VISA:

MQ 16.102

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

COQUANT
59261 WAHAGNIES FRANCE

PROCES VERBAL D'EXAMEN VISUEL
Inspection report of visual examination

CM: /
PV: VS99.09
Page: 1 / 1

CLIENT: Customer Artos
REF CLIENT: Purchase order /
N° PLAN: DWG /
PIECE OU ENSEMBLE: Vessel or equipment Elnourth TE11B

OBJET DU CONTROLE: Contrôle visuel de la soudure
Subject of examination

ANNEXE N° 2
A NOTRE CERTIFICAT N° 9135-02-EN
APAVE NORD PICARDIE

Reperes: Marks /
Etendue du controle: Scope of examination 100%
Stade du controle: Stage of examination après soudage

CONDITIONS D'EXECUTION SUIVANT: Conditions of execution to NFEN 288.3

-Conditions d'examen: Conditions of execution to
Oeil : ☒ Eye
Loupe : ☐ Magnifying glass
Grossissement G: Magnification
Autres : Other

-Etat de surface: Surface condition
Brut de soudage: ☒ As welded
Meule: ☐ Ground
Usine: ☐ Machined
Autres: Other spec.

-INTERPRETATION SUIVANT: Interpretation to ISO 5817

-RESULTATS : Results Conforme

INTERPRETE PAR : P. DORCHIES	RECEPTION PAR UN ORGANISME D'INSPECTION
NIVEAU : Level /	NOM : Name
DATE : 21.01.99	DATE :
VISA : Signed :	VISA: Signed:

COQUANT 59261 WAHAGNIES

MQ 99.186

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

COQUANT
59261 WARAGNIES FRANCE

PROCES VERBAL D'EXAMEN PAR RESSUAGE

Inspection report of liquid penetrant examination

CM: /
PV: PT99.09
Page: 1 / 1

CLIENT: Customer QMOS
REF CLIENT: Purchase order /
N° PLAN: DWG /
PIECE OU ENSEMBLE: Vessel or equipment Epaisseur TE 11 B

OBJET DU CONTROLE: Subject of examination Contrôle par ressuage de la soudure
ANNEXE N° 3
A NOTRE CERTIFICAT N° 3135-02-EN
Reperes: Marks /
APAVE NORD PICARDIE
Etendue du controle: Scope of examination 100 %
Stade du controle: Stage of examination après soudage

CONDITIONS D'EXECUTION SUIVANT: Conditions of execution to NFEN 288.3

- Etat de surface: Surface condition — Brut de soudage: As welded [X] — Meule: Ground [ ] — Usine: Machined [ ] — Autres: Other spec.
- Prepa. avant examen: Prepa. before examination — OUI: [X] — NON: [ ]
  Brossage: Brushing [ ] — Meulage: Grinding [ ] — Solvant non halogene: Halide free solvent [X] — Sechage: Drying [ ]
- Penetrant: Penetrant — Marque: Make SOFRANEL — Type: Type CHECKMOR 200
  Colore: Dye [X] — Fluorescent: Fluorescent [ ] — Preemulsionne: Pre-emulsified [X] — Post emulsionne: Post-emulsified [ ]
  Pulverisation: Spraying [X] — Pinceau: Brushing [ ] — Immersion: Immersion [ ] — Temperature: Temperature 15 °C — Temps: Time 20 min
- ~~Emulsifiant(eventuel)~~: Emulsifier[ifany] — Marque: Make — Type: Type
  Lipophyle: Lipophylic [ ] — Hydrophyle: Hydrophylic [ ]
  Pulverisation: Spraying [ ] — Pinceau: Brushing [ ] — Immersion: Immersion [ ] — Temperature: Temperature °C — Temps: Time min
- Elimination de l'excedent liquide: Surface condition — Eau: Water [X] — Solvant: Solvent [ ] — Nature: Nature [ ] — Chiffon: Rag [X]
- Revelateur: Developer — Marque: Make SOFRANEL — Type: Type LD3
  Sec: Dry [ ] — Autre: Other [ ] — En suspension dans un liquide volatil: Volatile liquid suspension [X]
  Projection: Spraying [X] — Pinceau: Brushing [ ] — Immersion: Immersion [ ] — Arrosage: Sprinkling [ ]
- Duree du ressuage: Penetration time — Temps: Time 30 min
- Examen : Examination — Lumiere naturelle: Day light [X] — Artificielle: Artificial [ ] — De Wood: [ ]
- Elimination des produits d'essais: Removal of test products — OUI: [X] — NON: [ ]

- INTERPRETATION SUIVANT: Interpretation to ISO 5817
- RESULTATS : Results — Releve des spectres: Recording of particle indication — OUI: [ ] — NON: [X] — Nb.annexes: Nb appendices /

Conforme

INTERPRETE PAR : Interpretation by P. DORCHIES	RECEPTION PAR UN ORGANISME D'INSPECTION Reception by an inspection organization
NIVEAU : Level 2 COFREND	NOM : Name
DATE : Date 21.01.99	DATE : Date
VISA : Signed :	VISA: Signed:

COQUANT 59261 WARAGNIES

MQ 09.102 1/2

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

EURO TECHNI CONTROLE
Parc d'activités du Gard 62300 LENS
S.A.R.L. AU CAPITAL DE 600.000 F - RCS BÉTHUNE B 352 381 677
SIRET : 352 381 677 00017 - Code APE 743 B
Tél. 21.79.16.00 - Télécopieur 21.28.95.00

COQUANT
26 JAN. 1999
59261 WAHAGNIES

RAPPORT D'EXAMEN - CONTROLE PAR RAYONNEMENTS IONISANTS
Radiographic Examination Report

Commande n° : 8407 CM QMOS (54/98)
Order

RE N° : 99E18.01/1
Report

Donneur d'ordre : COQUANT
Customer

EURO-TECHNI-CONTROLE
Parc d'Activités du Gard
62300 LENS - ☎ 21.79.16.00
SIRET 352 381 677 00017

Adresse : 207 RUE LEON GAMBETTA BP 13
Adress 59261 WAHAGNIES

Lieu d'intervention : ETC
Site

Date : 25/01/99
Date

Agent de contrôle : DEPLANQUE L
Operator

Niveau : COFREND 2
Level

ANNEXE N° H
A NOTRE CERTIFICAT N° 9135-09-EN
APAVE NORD PICARDIE

OBJET DU CONTROLE
Object

Designation : QUALIFICATION MODE OPERATOIRE DE SOUDAGE
Description

Constructeur : COQUANT
Contractor

Plan de référence :
Drawings Reference

Stade d'examen : APRES SOUDAGE FINAL
Step of inspection

Après traitement thermique ☐
After heat treatment

Etendue du contrôle : 100% DES SOUDURES REPEREES E120, F12A, TE11A, TE11B.
Examination coverage

DOCUMENTS DE REFERENCE
Reference specications

EN 288.3 + EN 25.817 CLASSE B
AM 21.3.78 2=1

CONCLUSION SOUDURES DANS LES TOLERANCES

SOUDURE TE11B: EXCES DE PENETRATION A TRAITER PAR COQUANT

	NOM *Name*	Niveau *Level*	VISA	DATE *Date*
Agent de contrôle *Operator*	DEPLANQUE L	COFREND 2		25/01/99
Responsable technique *Supervisor*				

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

EURO TECHNI CONTROLE
Parc d'activités du Gard 62300 LENS
S.A.R.L. AU CAPITAL DE 600.000 F - RCS BÉTHUNE B 352 381 677
SIRET : 352 381 677 00017 - Code APE 741 B
Tél. 21.79.16.00 - Télécopieur 21.28.95.99

CONTROLE QUANT
26 JAN. 1999
59261 WAHAGNIES

RE N° 99E18.01/1
Report
2/6

EURO-TECHNI-CONTROLE
Parc d'Activités du Gard
62300 LENS - ☎ 21.79.16.00
SIRET 352 381 677 00017

CONDITIONS D'EXAMEN RADIOGRAPHIQUE
Radiographic Examination Conditions

Affaire *Project*	N°.CM.QMOS.(54/98)...	Epaisseur réelle *Real thickness* : .....20..... mm	ϕ ext. ϕ D ..... mm
Commande usine *Shop order*	N°.8407.....		
Appareil *Apparatus*	N° ANNEXE N° 5	Matériau *Material* Férritique *Ferritic* ☒	Austénitique *Austenitic* ☐
Repère de la pièce *Item mark* :	A NOTRE CERTIFICAT ☎ 9135-02-EN		
Repère soudure *Weld mark* :	.....E120.....	Aluminium ☐	Autre/*Other* :
		Repère(s) soudeur(s) *Welder mark (s)*	

- Rayons X / *X Ray* ☐ — Appareil / *Apparatus N°* — Foyer maxi/*Focus max.* — mm
  Tension utilisée / *Voltage used* — kV — Ampérage/*Intensity* — mA
- Rayons γ / *γ Ray* ☒ : Ir 192 ☒ : Co 60 ☐ : Autre/*Other* ☐
  Dimension source / *Source size (1)* ϕ x h : 3.00 x 2.00 — Activité/*Activity* 962.0 GBq / 26.0 Ci

- FILM : AGFA GEVAERT D4

- CASSETTE : Format 10 x 40 ☒ 10 x 20 ☐ 15 x 40 ☐ 15 x 20 ☐ Autre/*Other* ☐ — Cm
  Technique — Simple film/*Single film* ☐ — Technique double film ☒ — Autre/*Other* ☐

Ecran en pb. mm/: *Screens in pb. mm*	Avant / *Front* :	0 ☐	0.027 ☐	0.1 ☐	0.2 ☒
	Intermédiaire / *Intermediate* :	0 ☐	2 x 0.027 ☐	2 x 0.05 ☐	2 x 0.1 ☒
	Arrière / *Back* :	0 ☐	0.027 ☐	0.1 ☐	0.2 ☒
Filtres en pb. mm/: *Filters in pb. mm*	Avant / *Front* :	0 ☒	0.5 ☐	1 ☐	2 ☐
	Blocage / *Blocking* :	0 ☐	1 ☐	2 ☒	4 ☐

- Techniques (position source film) :
  Panoramique / *Panoramic* ☐ — Film par film/*Film by film* ☒
  Une paroi examinée / *Single Wall viewing* ☒ — Deux paroi examinées/*Double Wall viewing* ☐ — Ellipse *Ellipsis* ☐
  Contact extérieur / *Contact outside* ☐ — Autre/*Other* ☐ ..... — Dans le plan *In plane* ☐
  Source distance film (1) 500.00 mm
  Epaisseur radiographiée réelle (1) *Real tchickness radiographied* 23.0 mm — ϕ ext./OD ....0.00... mm x ep./th 20.0 mm
  Flou géométrique en mm : Fg ≤ 0.2 ☒ : 0.2 < Fg ≤ 0.30 ☐ : 0.30 < Fg ≤ 0.50 ☐ : Autre/*Other* 0.00mm *Geometric unsharpness in mm*
  Temps de pose / *Exposure time* ....0... *h* ...8.... *min* ...30.. *s*

- IQI : AFNOR H3 ☐ HA ☐ HB ☐
  DIN FE ☒ — DIN AL ☐ 10 ISO 16 ☒ 6 ISO 12 ☐ 1 ISO 7 ☐ — Position — Côté source *Source side* ☒
  ASME ☐ — Désignation : — Côté Film *Film side* ☐

- Développement : *Processing* — Manuel *Manual* ☐ — Automatique *Automatic* ☒ — 12 MN AGFA NDT1

Révélateur *Developper*	G135	Température *Temperature*	24°C
Révélateur *Fixer*	G335	Température *Temperature*	24°C

(1) Entourer la dimension prise en compte pour le calcul de flou géométrique / *Encircle the dimension used for geometric unsharpness*

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

EURO TECHNI CONTROLE

Parc d'activités du Gard 62300 LENS
S.A.R.L. AU CAPITAL DE 600.000 F - RCS BÉTHUNE B 352 [illegible]
SIRET : 352 381 677 00017 - Code APE 743 B
Tél. 21.79.16.00 - Télécopieur 21.28.95.00

COQUANT
26 JAN. 1999
SERVICE QUALITE

RE N° 99E18.01/1
Report
3/6

EURO-TECHNI-CONTROLE
Parc d'Activités du Gard
62300 LENS - ☎ 21.79.16.00
SIRET 352 381 677 00017

CONDITIONS D'EXAMEN RADIOGRAPHIQUE
Radiographic Examination Conditions

Affaire / *Project* : N°.CM.QMOS.(54/98)...
Commande usine / *Shop order* : N°.8407.....
Appareil / *Apparatus* : N° ANNEXE N° 6
Repère de la pièce / *Item mark* : A NOTRE CERTIFICAT N° 9135-02-GN
Repère soudure / *Weld mark* : .....F12A.....

APAVE NORD PICARDIE

Epaisseur réelle / *Real thickness* : .....16..... mm
ϕ ext. / ϕ *D* ..... mm
Matériau / *Material* : Férritique / *Ferritic* ☒ Austénitique / *Austenitic* ☐ Aluminium ☐ Autre/*Other* :
Repère(s) soudeur(s) / *Welder mark (s)* .....

- Rayons X / *X Ray* ☐ Appareil / *Apparatus N°* — Foyer maxi/*Focus max.* mm
  Tension utilisée / *Voltage used* kV — Ampérage/*Intensity* mA
- Rayons γ / *γ Ray* ☒ : Ir 192 ☒ : Co 60 ☐ : Autre/*Other* ☐
  Dimension source / *Source size (1) ϕ x h* : 3.00 x 2.00 — Activité/*Activity* 962.0 GBq / 26.0 Ci

- FILM : AGFA GEVAERT D4

- CASSETTE : Format 10 x 40 ☒ 10 x 20 ☐ 15 x 40 ☐ 15 x 20 ☐ Autre/*Other* ☐ Cm
  Technique : Simple film/*Single film* ☐ Technique double film ☒ Autre/*Other* ☐

Ecran en pb. mm/: *Screens in pb. mm*					
	Avant / *Front* :	0 ☐	0.027 ☐	0.1 ☐	0.2 ☒
	Intermédiaire / *Intermediate* :	0 ☐	2 x 0.027 ☐	2 x 0.05 ☐	2 x 0.1 ☒
	Arrière / *Back* :	0 ☐	0.027 ☐	0.1 ☐	0.2 ☒
Filtres en pb. mm/: *Filters in pb. mm*					
	Avant / *Front* :	0 ☒	0.5 ☐	1 ☐	2 ☐
	Blocage / *Blocking* :	0 ☐	1 ☐	2 ☒	4 ☐

- Techniques (position source film) :
  Panoramique / *Panoramic* ☐ Film par film/*Film by film* ☒
  Une paroi examinée / *Single Wall viewing* ☒ Deux paroi examinées/*Double Wall viewing* ☐
  Contact extérieur / *Contact outside* ☐ Autre/*Other* ☐ .....
  Ellipse ☐ *Ellipsis* — Dans le plan ☐ *In plane*
  Source distance film (1) 500.00 mm
  Epaisseur radiographiée réelle (1) 19.0 mm — ϕ ext./OD ....0.00... mm x ep./th 16.0 mm
  Real tchickness radiographied
  Flou géométrique en mm : Fg ≤ 0.2 ☒ : 0.2 < Fg ≤ 0.30 ☐ : 0.30 < Fg ≤ 0.50 ☐ : Autre/*Other* 0.00mm
  Geometric unsharpness in mm
  Temps de pose / *Exposure time* ....0... *h* ...6.... *min* ...30.. *s*

- IQI : AFNOR H3 ☐ HA ☐ HB ☐
  DIN FE ☒ DIN AL ☐ 10 ISO 16 ☒ 6 ISO 12 ☐ 1 ISO 7 ☐
  ASME ☐ Désignation :
  Position : Côté source ☒ *Source side* / Côté Film ☐ *Film side*

- Développement : *Processing* — Manuel / *Manual* ☐ Automatique / *Automatic* ☒ 12 MN AGFA NDT1
  Révélateur / *Developper* G135 — Température / *Temperature* 24°C
  Révélateur / *Fixer* G335 — Température / *Temperature* 24°C

(1) Entourer la dimension prise en compte pour le calcul de flou géométrique / *Encircle the dimension used for geometric unsharpness*

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

EURO TECHNI CONTROLE

Parc d'activités du Gard 62300 LENS
S.A.R.L. AU CAPITAL DE 600.000 F - RCS BETHUNE B 352 381 677
SIRET : 352 381 677 00017 - Code APE 748 B
Tél. 21.79.16.00 - Télécopieur 21.28.95.00

ACQUANT
26 JAN. 1999
59261 WAHAGNIES

RE N° 99E18.01/1
Report
4/6

EURO-TECHNI-CONTROLE
Parc d'Activités du Gard
62300 LENS - ☎ 21.79.16.00
SIRET 352 381 677 00017

CONDITIONS D'EXAMEN RADIOGRAPHIQUE
Radiographic Examination Conditions

Affaire *Project* N°.CM.QMOS.(54/98)...
Commande usine *Shop order* N°.8407.....
Appareil *Apparatus* N° ANNEXE N° 7
Repère de la pièce *Item mark :* A NOTRE CERTIFICAT N° 9135-02-EN.
Repère soudure *Weld mark :* AGAVE NORD PICARDIE
.....TE1.1A.....

Epaisseur réelle *Real thickness :* .....5..... mm
ϕ ext. ϕ D .....42.5 mm
Matériau *Material* Férritique *Ferritic* ☒ Austénitique *Austenitic* ☐
Aluminium ☐ Autre/*Other :*
Repère(s) soudeur(s) *Welder mark (s)* .....

- Rayons X / *X Ray* ☐ Appareil / *Apparatus N°* Foyer maxi/*Focus max.* mm
Tension utilisée / *Voltage used* kV Ampérage/*Intensity* mA
- Rayons γ / *γ Ray* ☒ : Ir 192 ☒ : Co 60 ☐ : Autre/*Other* ☐
Dimension source / *Source size (1) ϕ x h :* 3.00 x 2.00 Activité/*Activity* 962.0 GBq 26.0 Ci

- FILM : AGFA GEVAERT D4

- CASSETTE : Format 10 x 40 ☐ 10 x 20 ☒ 15 x 40 ☐ 15 x 20 ☐ Autre/*Other* ☐ Cm
Technique Simple film/*Single film* ☐ Technique double film ☒ Autre/*Other* ☐

Ecran en pb. mm/: *Screens in pb. mm*	Avant / *Front* :	0 ☐	0.027 ☐	0.1 ☐	0.2 ☒
	Intermédiaire / *Intermediate* :	0 ☐	2 x 0.027 ☐	2 x 0.05 ☐	2 x 0.1 ☒
	Arrière / *Back* :	0 ☐	0.027 ☐	0.1 ☐	0.2 ☒
Filtres en pb. mm/: *Filters in pb. mm*	Avant / *Front* :	0 ☒	0.5 ☐	1 ☐	2 ☐
	Blocage / *Blocking* :	0 ☐	1 ☐	2 ☒	4 ☐

- Techniques (position source film) :
Panoramique / *Panoramic* ☐ Film par film/*Film by film* ☒
Une paroi examinée / *Single Wall viewing* ☐ Deux paroi examinées/*Double Wall viewing* ☒
Contact extérieur / *Contact outside* ☐ Autre/*Other* ☐ .....
Ellipse ☐ *Ellipsis*
Dans le plan ☒ *In plane*
Source distance film (1) 500.00 mm
Epaisseur radiographiée réelle (1) *Real tchickness radiographied* 15.0 mm ϕ ext./OD ...42.50.. mm x ep./th 5.0 mm
Flou géométrique en mm : Fg ≤ 0.2 ☒ : 0.2 < Fg ≤ 0.30 ☐ : 0.30 < Fg ≤ 0.50 ☐ : Autre/*Other* 0.00mm *Geometric unsharpness in mm*
Temps de pose / *Exposure time* ....0... *h* ...5.... *min* ....0... *s*

- IQI : AFNOR H3 ☐ HA ☐ HB ☐
DIN FE ☒ DIN AL ☐ 10 ISO 16 ☒ 6 ISO 12 ☐ 1 ISO 7 ☐ Position
ASME ☐ Désignation :
Côté source ☒ *Source side*
Côté Film ☐ *Film side*

- Développement : *Processing* Manuel *Manual* ☐ Automatique *Automatic* ☒ 12 MN AGFA NDT1
Révélateur *Developper* G135 Température *Temperature* 24°C
Révélateur *Fixer* G335 Température *Temperature* 24°C

(1) Entourer la dimension prise en compte pour le calcul de flou géométrique / *Encircle the dimension used for geometric unsharpness*

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

EURO TECHNI CONTROLE
Parc d'activités du Gard 62300 LENS
S.A.R.L. AU CAPITAL DE 600.000 F - RCS BETHUNE B 352 381 677
SIRET : 352 381 677 00017 - Code APE 743 B
Tél. 21.79.16.00 - Télécopieur 21.28.95.00

SOQUANT
26 JAN. 1999
59261 WAHAGNIES

RE N° 99E18.01/1
Report
5/6

EURO-TECHNI-CONTROLE
Parc d'Activités du Gard
62300 LENS - ☎ 21.79.16.00
SIRET 352 381 677 00017

CONDITIONS D'EXAMEN RADIOGRAPHIQUE
Radiographic Examination Conditions

Affaire *Project* N°.CM.QMOS.(54/98)....
Commande usine *Shop order* N°.8407.....
Appareil *Apparatus* N°.....ANNEXE N° 8...
Repère de la pièce *Item mark :* .....A.....A NOTRE CERTIFICAT N° 913502-EN
Repère soudure *Weld mark :* .....TE1.1.B.....

Epaisseur réelle *Real thickness :* .....7.1..... mm — ϕ ext. *ϕ D* .....168.3 mm
Matériau *Material* Férritique *Ferritic* ☒ Austénitique *Austenitic* ☐ Aluminium ☐ Autre/*Other :*
Repère(s) soudeur(s) *Welder mark (s)* .....

- Rayons X / *X Ray* ☐ Appareil / *Apparatus N°* Foyer maxi/*Focus max.* mm
Tension utilisée / *Voltage used* kV Ampérage/*Intensity* mA
- Rayons γ / *γ Ray* ☒ : Ir 192 ☒ : Co 60 ☐ : Autre/*Other* ☐
Dimension source / *Source size (1) ϕ x h :* 3.00 x 2.00 Activité/*Activity* 962.0 GBq / 26.0 Ci

- FILM : AGFA GEVAERT D4

- CASSETTE : Format 10 x 40 ☐ 10 x 20 ☒ 15 x 40 ☐ 15 x 20 ☐ Autre/*Other* ☐ Cm
Technique Simple film/*Single film* ☒ Technique double film ☐ Autre/*Other* ☐

Ecran en pb. mm/: *Screens in pb. mm*	Avant / *Front* :	0 ☐	0.027 ☐	0.1 ☐	0.2 ☒
	Intermédiaire / *Intermediate* :	0 ☒	2 x 0.027 ☐	2 x 0.05 ☐	2 x 0.1 ☐
	Arrière / *Back* :	0 ☐	0.027 ☐	0.1 ☐	0.2 ☒
Filtres en pb. mm/: *Filters in pb. mm*	Avant / *Front* :	0 ☒	0.5 ☐	1 ☐	2 ☐
	Blocage / *Blocking* :	0 ☐	1 ☐	2 ☒	4 ☐

- Techniques (position source film) :
Panoramique / *Panoramic* ☐ Film par film/*Film by film* ☒
Une paroi examinée / *Single Wall viewing* ☒ Deux paroi examinées/*Double Wall viewing* ☐
Contact extérieur / *Contact outside* ☒ Autre/*Other* ☐ .....
Ellipse ☐ *Ellipsis* Dans le plan ☐ *In plane*
Source distance film (1) 169.00 mm
Epaisseur radiographiée réelle (1) 9.0 mm ϕ ext./OD ....0.00... mm x ep./th 7.1 mm
Real tchickness radiographied
Flou géométrique en mm : Fg ≤ 0.2 ☒ : 0.2 < Fg ≤ 0.30 ☐ : 0.30 < Fg ≤ 0.50 ☐ : Autre/*Other* 0.00mm
Geometric unsharpness in mm
Temps de pose / *Exposure time* ....0... *h* ....1..... *min* ....10.. *s*

- IQI : AFNOR H3 ☐ HA ☐ HB ☐
DIN FE ☒ DIN AL ☐ 10 ISO 16 ☒ 6 ISO 12 ☐ 1 ISO 7 ☐ Position
ASME ☐ Désignation :
Côté source ☐ *Source side* Côté Film ☒ *Film side*

- Développement : *Processing* Manuel ☐ *Manual* Automatique ☒ *Automatic* 12 MN AGFA NDT1
Révélateur *Developper* G135 Température *Temperature* 24°C
Révélateur *Fixer* G335 Température *Temperature* 24°C

(1) Entourer la dimension prise en compte pour le calcul de flou géométrique / *Encircle the dimension used for geometric unsharpness*

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

EURO TECHNI CONTROLE
Parc d'activités du Gard 62300 LENS
S.A.R.L. AU CAPITAL DE 600.000 F - RCS BÉTHUNE B 352 381 677
SIRET : 352 381 677 00017 - Code APE 743 B
Tél. 21.79.16.00 - Télécopieur 21.28.95.00

COQUANT
26 JAN. 1999

RE N° 99E18.01/1
Report 1/1
EURO-TECHNI-CONTROLE
59261 WAHAGNIES Parc d'Activités du Gard
62300 LENS - ☎ 21.79.16.00
SIRET 352 381 677 00017

RAPPORT D'INTERPRETATION
Radiographic Interpretation Report

Négatoscope utilisé *Viewing screen used* N° 5409.....

Densitomètre utilisé *Densitometer used* N° 3438.....

Densité mesurée : *Mesured density* Conforme ☒

FILM N°	FISSURE *Crack*	SOUFLURES *Gas cavity*	INCLUSION	Manque de fusion *Lack of fusion*	Manque de Péné. *Lack of penetration*	Défaut de Forme *Imperfect form*	AUCUN DEFAUT *No defect*	REMARQUES *Remarks*	DECISION IQI φ	Acceptable	A réparer *To repair*	Accep. après réparation *Acceptable after repair*
								CDE 8407 CM QMOS (54/98)				
E120								Epaisseur 20 mm				
0/1		X						défaut reprise	0.25	X		
F12A								Epaisseur 16 mm				
0/1		X	X						0.20	X		
TE11A								φ42.5x5				
A*								exces de péné	0.20	X		
B*								exces de péné	0.20	X		
								* a traiter par COQUANT				
TE11B								φ168.3x7.1				
45/05							X	*porosite importante dans	0.16	X		
								le tube.				
05/20								*,péné irrégulière	0.16	X		
20/40								*	0.16	X		
35/50		X				X		*	0.16	X		
								ANNEXE N° 9				
								A NOTRE CERTIFICAT N° 9135-02-EN				
								APAVE NORD PICARDIE				

Examen conforme aux documents de référence / *Examination in accordance with reference specification* ☒

OPERATEUR ET INTERPRETE / *Operator and interpreter*					INSPECTEUR CLIENT / *Customer inspector*		
ORGANISME	NOM	NIVEAU	DATE	SIGNATURE	NOM	DATE	SIGNATURE
ETC Opérateur / ETC Interprète	DEPLANQUE L	COFREND 2	25/01/99				

ANNEXE N° 10
A NOTRE CERTIFICAT N° 3135-02-EN
APAVE NORD PICARDIE

Tuberie de Deville

rue Laveissière BP.14
76250 Deville les Rouen FRANCE
tél: 32.82.28.28
tlx: VLR DEV 770942F
fax: 35.75.81.82

CERTIFICAT DE RECEPTION
INSPECTION CERTIFICATE
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS

EN 10204 3.1.B

Réf: 52-96-024016 /1
N°VLR : GZ2812/19

Client / Purchaser / Besteller :STARVAL MARLY LA VILLE

N°de commande / Order n° / Bestelnummer :206434 DU 27/10/95

TUBES SANS SOUDURE LAMINES A CHAUD (ACIER CALME) / SEAMLESS STEEL PIPE,HOT FINISHED (KILLED STEEL) / NAHTLOSE STAHLROHRE,WARMGEWALZT (BERUH.STAHL)
BRUTS DE CHAUD / AS ROLLED / WARMGEFERTIGT
EXTREMITES CHANFREINEES / ENDS BEVELLED / ABGESCHRÄGT30°
Spécification / Specification / Spezification :NF A 49211(89) - TUE 250 B calmé - NACE MR 01.75(95) - SPEC. SA-023 REV.3
Marquage peinture / Stencil marking / Farbenkennzeichnung: NO CDE CLIENT/CUSTOMER REF/BESTELLER Nr
Marquage peinture en continu / stencil marking in continuous / kontinuierliche Farbenkennzeichnung: \'DV E250B 211 DIMENSIONS/SIZE/ABMESSUNGEN NO COULEE/HEAT NUMBER/ SCHMELZE

QUANTITES PAR POSTE / QUANTITY PER ITEM / MENGE PRO JE POSITION

v/Ref Y/R I/Ref	n/Ref O/R u/Ref	dimensions size Abmessungen	long. unitaire single length Einzellänge	nombre quantity Anzahl	longueur length Gesamtlänge m	poids weight Gewicht kg
	19	168.300 X 7.100	L C 5 A 7 M	90	550,45	15654

COQUANT 19 AVR. 1996 59261 WAHAGNIES

DOCUMENT DE CONTROLE VERIFIE STARVAL PAR LE GESTIONNAIRE DES CERTIFICATS

ANALYSE SUR COULEE / LADLE ANALYSIS / SCHMELZENANALYSE

CEC: C+MN/6+(CR+MO+V)/5+(NI+CU)/15 procédé Process Erschmel	coulée heat Schmelze	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	CEC
MIN.												
MAX.		0,20	0,35	1,00	0,025	0,025						0,42
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
E	70482	0,11	0,24	0,59	0,008	0,005	0,08	0,05	0,10	0,184	0,000	0,25

TRACTION PRISMATIQUE LONG TEMP AMBIANTE / RECTANGULAR SPECIMEN LONGITUDINAL TENSILE TEST AT ROOM TEMPERATURE / FLACHZUGPROBE IN LÄNGSRICHTUNG BEI RAUMTEMPERATUR

essai test Prüf.	coulée heat Schmelze	lim.élast. Y.S. Streckgrenze	résistance T.S. Zugfestigk.	all.5,65√So el.5,65√So Deh.5,65√So	Rm(A-2)	Rp/Rm
MIN.		250	410	23,0	10500	
MAX.			530			0,90
		MPa	MPa	%		
4810N	70482	356	472	31,9	14113	0,75

COQUANT Vérifié 59261 WAHAGNIES

N° Pag. 1 / 3 J 4515 SA

vallourec industries

Tuberie de Deville

rue Laveissière BP.14
76250 Deville les Rouen FRANCE
tél: 32.82.28.28
tlx: VLR DEV 770942F
fax: 35.75.81.82

CERTIFICAT DE RECEPTION
INSPECTION CERTIFICATE
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS

EN 10204 3.1.B

Réf: 52-96-024016 /1 2 / 3
N°VLR : GZ2812/19

COQUANT 19 AVR. 1996 59261 WAHAGNIES

DURETE ROCKWELL C / ROCKWELL C HARDNESS / ROCKWELL C HÄRTE

essai test Prüf.	coulée heat Schmelze	dureté 1 hardness 1 Härte 1
MIN.		
MAX.		22,0 HRC
4810N	70482	15.0

CONTROLES NON DESTRUCTIFS / NON DESTRUCTIVE TESTS / ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNGEN

nature d'essai test Probe	contrôle test rate Prüfumfang	pression pressure Druck bar	durée hold time Haltezeit sec	résultat result Ergebnis
EPREUVE HYDROSTATIQUE	100% LOT	172	6	BON
HYDROSTATIC TEST	100% LOT			OK
WASSERDRÜCKVERSUCH	100% LOS			O.B.
ASPECT & DIMENSIONS	100% LOT			BON
APPEARANCE & DIMENSIONS	100% LOT			OK
AUSSEHEN-ABMESSUNG	100% LOS			O.B.

ESSAIS TECHNOLOGIQUES / TECHNOLOGICAL TESTS / TECHNOLOGISCHE PRÜFUNGEN

nature d'essai test Probe	résultat result Ergebnis
APLATISSEMENT	BON
FLATTENING TEST	OK
RINGFALTVERSUCH	O.B.

ANNEXE N° 11
A NOTRE CERTIFICAT N° 3135 02-EN
APAVE NORD PICARDIE

COQUANT SA
N° Certificat 4L96 41
Page 1 / 3

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

Vallourec industries
Tuberie de Deville
rue Laveissière BP.14
76250 Deville les Rouen FRANCE
tél: 32.82.28.28
tlx: VLR DEV 770942F
fax: 35.75.81.82

CERTIFICAT DE RECEPTION
INSPECTION CERTIFICATE
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS

EN 10204 3.1.B

Réf. 52-96-024016/1 3/3
N°VLR : GZ2812/19

16/02/96

Document original informatique authentifié par le logo bleu Vallourec. Original computer copy - authenticity is guaranteed by the blue Vallourec logo. Mit Computer ausgestelltes Originaldokument durch blaues Vallourec Zeichen gekennzeichnet.	L'expert agréé du Service Qualité The authorized expert in Quality Control Section Der anerkannte Sachverständige der Qualitätsstelle
Tous les tubes sont conformes en nuance, qualité et traitement thermique sur toute leur longueur aux stipulations de la commande et norme. All the pipes/tubes conform to the requirements of the order and standard regarding the grade,quality and heat treatment throughout their whole length. Alle Rohre entsprechen über ihre ganze Länge den in der Bestellung und der Norm festgelegten Bestimmungen hinsichtlich der Stahlsorte,Gütestufe und Wärmebehandlung.	Mr. LECOURT

ANNEXE N° 12
A NOTRE CERTIFICAT N° 513502GN
AUBAVE NORD PICARDIE

COQUANT
19 AVR. 1996
59261 WAHAGNIES

COQUANT SA
N° Certificat J1196 12
Page 3 / 3

77

SAF

S A F
13, rue d'Epluches - Saint Ouen l'Aumône - 95315 Cergy Pontoise Cedex

certificat de réception

ANNEXE N° 13

INSPECTION CERTIFICATE
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS

A NOTRE CERTIFICAT N° 3135-02-EN

SUIVANT NF EN 10204 type 3.1 B

AIR LIQUIDE NORD PICARDIE

Désignation Trade name Markenbezeichnun	SAFER NF 510 A	Dimenions Sizes Abmessung O X L	[X] Electrode [ ] Fil massif Bare wire [ ] Baguette Rod [ ] Fil fourré Flux-cored wire
Fabrication n° Batch n° Ferligungs-Nr	1000498	2,5 X 350	

Désignation normalisée / Standardized designation
Typenbezeichnung
NF A 81 — NF EN 499 - E 423 B 32 H5

Observation / Remark

ANALYSE CHIMIQUE
CHEMICAL ANALYSIS
Schweissgut Analyse

[X] Du métal déposé of the deposited metal
[ ] Du produit of the product

Dépot pour Analyse chimique
Weld pad for chemical Analysis
[ ] SUIVANT / as per NF EN 26847
[ ] SUIVANT / as per

éléments	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
teneur conten	0,080	0,690	1,050	0,017	0,004		□	□	□
éléments	Co								Ferrite WRC 92
teneur conten									

COQUANT SA
Conforme à la
Spécification référencee
Service AQ

CARACTERISTIQUES MECANIQUES DU METAL DEPOSE / mechanical properties of the deposited weld metal
Mechanische Eigenschaften

Dépôt pour essais mécanique
Deposit for mechanical test
[X] SUIVANT / as per NF A 81 000
[ ] SUIVANT / as per

SUIVANT EN 1597-1

Traitement Thermique / Heat treatment [ ]
Montée en Température / Heating rate 000 °C / h
Palier / Soaking temperature time 000 °C / h
Refroidissement / Cooling rate 000 °C / h

Essai de traction / Tensile test				Essai de résilience / Impact test			
Résistance à la traction RM Mpa	Limite d'élasticité R E MPa	Allongement A % (5)d	Striction Z %	Temps d'essais °C	Type d'entaille	Energie absorbée J	Résilience J/cm2
624 618	531 538	30 30					
UTS Zug Festigkeit	YS Streck Grenze	Elongation Dehnung	Reduction of area	Test temper. Prüftemper	Notch type ISO-V	Impact value Kerbschlagarbeit	Impact strengh

Je soussigné certifie que tous les essais et vérifications effectués sur la fourniture précitée sont consignés sur le présent CERTIFICAT et que leurs résultats et tout autre renseignement sont complets et sincères.

We certify that the statements in this report are correct and that the test welds were prepared welded and tested in accordance with the requirements above mentioned.
Die Unterzeichnenden bestätigen hiermit, dass alle in Bezug auf de o.g. Lieferung ausgeführten Versuche und Überprüfungen in diesem Werkzeugnis ausgeführt sind dass ihre Ergebnisse oder jegliche weitere Auskunft vollständig und erhrlich sind.

Le chef du Service contrôle qualité — Signature sous contrôle informatique Mr DIEUDONNE

1 MPa = 1 Nmm² = 1/10 hbar = 0,102 kgf/mm² — 1 J = 0,102 kgf.m

COQUANT SA
N° Certificat 406 / 98
Page 1 / 1

Date 05/01/1999

18

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

SAF

S A F
13, rue d'Epluches - Saint Ouen l'Aumône - 95315 Cergy Pontoise Cedex

certificat de réception

INSPECTION CERTIFICATE
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS

ANNEXE N° 14
A NOTRE CERTIFICAT N° 5135 02-EN
ARAVE NORD PICARDIE

SUIVANT NF EN 10204 type 3.1 B

Désignation Trade name Markenbezeichnun	SAFER NF 510 A	Dimenions Sizes Abmessung O X L 3,2 X 450	[X] Electrode [ ] Fil massif (Bare wire) [ ] Baguette (Rod) [ ] Fil fourré (Flux-cored wire)
Fabrication n° Balch n° Fertigungs-Nr	1000550		

Désignation normalisée / Standardized designation
Typenbezeichnung
NF A 81 — NF EN 499 - E 423 B 32 H5

Observation / Remark

ANALYSE CHIMIQUE
CHEMICAL ANALYSIS
Schweissgut Analyse

[X] Du métal déposé / of the deposited metal
[ ] Du produit / of the product

Dépot pour Analyse chimique
Weld pad for chemical Analysis

[ ] SUIVANT / as per NF EN 26847
[ ] SUIVANT / as per

éléments	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
teneur conten	0,066	0,480	1,270	0,010	0,005		0	0	0
éléments	Co								Ferrite WRC 92
teneur conten									

COQUANT SA
Conforme à la Spécification référencee
Service AQ

CARACTERISTIQUES MECANIQUES DU METAL DEPOSE / mechanical properties of the deposited weld metal
Mechanische Eigenschaften

Dépôt pour essais mécanique
Deposit for mechanical test

[X] SUIVANT / as per NF A 81 000
[ ] SUIVANT / as per

SUIVANT EN 1597-1

Traitement Thermique / Heat treatment [ ]
Montée en Température / Heating rate 000 °C / h
Palier / Soaking temperature time 000 °C / h
Refroidissement / Cooling rate 000 °C / h

Essai de traction / Tensile test				Essai de résilience / Impact test					
Résistance à la traction RM Mpa	Limite d'élasticité R E MPa	Allongement A % (5)d	Striction Z %	Temps d'essais °C	Type d'entaille	Energie absorbée J			Résilience J/cm2
572	511	28	75	-30 -40	V V	183 159	184 132	180 163	
UTS Zug Festigkeit	YS Streck Grenze	Elongation Dehnung	Reduction of area	Test temper. Prüftemper	Notch type ISO-V	Impact value Kerbschlagarbeit			Impact strengh

RESULTATS CONFORMES AU CODE ASME SECTION II PART C SFA 5.1 E 7018

Je soussigné certifie que tous les essais et vérifications effectués sur la fourniture précitée sont consignés sur le présent CERTIFICAT et que leurs résultats et tout autre renseignement sont complets et sincères.

We certify that the statements in this report are correct and that the test welds were prepared welded and tested in accordance with the requirements above mentionned.
Die Unterzeichnenden bestätigen hiermit, dass alle in Bezug auf de o.g. Lieferung ausgefhurten Versuche und Überprüfungen in diesem Werkzeugnis ausgeführt sind dass ihre Ergebnisse oder jegliche weitere Auskunft vollständig und erhrlich sind.

Le chef du Service contrôle qualité

Signature sous contrôle informatique Mr DIEUDONNE

1 MPa = 1 Nmm² = 1/10 hbar = 0,102 kgf/mm²

COQUANT SA
N° Certificat 401/98
Page 1/1

1 J = 0,102 kgf.m

Date 05/01/1999

79

ANNEXE N° 15
A NOTRE CERTIFICAT N° 3135-02-EN
ALPAVE NORD PICARDIE

Oerlikon Soudure France
Z.A.de Courtaboeuf-Av. de l'Océanie
B.P. 114 - 91944 Les Ulis Cédex A
Tél. (1) 69 59 15 59 -Télécopie: (1) 64 46 07 56

COQUANT
- 4 [illegible] 1998
59261 WAHAGNIES

Certificat de Contrôle des Produits par l'Usine (C.C.P.U.)

INSPECTION CERTIFICATE OF FILLER METALS BY FACTORY
WERKSZEUGNIS
EN 10204 3.1.B

Les Ulis, le 24.12.1998
Date/ Datum

Client : COQUANT
Customer / Kunde :
N° de Cde: 8326 CM 54/98
P.O N° / Best Nr :

Réf. à la norme : DIN 8559 : W SG2-IY4254
Ref to standard : DIN EN 1669 : W3Si1
Norme:

Type de métal d'apport: Fil TIG (WIG-wire)
Type of filler metal / Zusatzwerkstoff

Désignation commerciale: OE-SG2
Trade mark / Handelsname

N° Lot : 01395
Lot N° Charge Nr :
Dimensions : 2.01000
Size / Ø:

COQUANT SA
Conforme à la Spécification référencee
Service AQ

Analyse chimique % *Chemical analysis*
du métal déposé *of deposited metal reines Schweissgut* ☐
du produit *of filler metal / Product* ☒

C %	Mn %	Si %	Cr %	Ni %	Mo %	S %	P %	Cu %			
0.08	1.48	0.89	-	-	-	0.010	0.012	-			

Caractéristiques mécaniques métal déposé
Mecanical properties deposited metal
Mechanische Gütewerte reines schweissgut
EN 10204 2.2

Température d'essai °C	R_m N/mm²	R_e N/mm²	A(5d) %	Résilience t (°C)	Résilience Joules KV -	Traitement thermique
+20°C	500-640	> 420	> 22	+20°C	> 80	Etat brut
Test Temp. Probe Temp	*Tensile strength Zugfestigkeit*	*yield stress Streckgrenze*	*Elongation Dehnung*	*Impact values Zähigkeit*		*Heat treatment W.B.*

Kennblatt TÜV : 5671.01

COQUANT SA
N° Certificat 096/98
Page 1 / 1

Oerlikon Soudure France
J.P. SCHMITT

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

PV. QMOS N° : 9135-07-EN.

CAQ 0520-94 – Rév : 1 — 3/4

II. RÉSULTATS DES CONTRÔLES, EXAMENS ET ESSAIS

1 - CONTROLES NON DESTRUCTIFS (EN 288-3 ET ANNEXE III À L'ARRETE DU 24 MARS 1978)	Exécuté par :	N° PV et date
Visuel :	COQUANT	99.09 le 21.01.99
Ressuage :	1	1
Magnétoscopique :		
Radiographique :	Euro Techni Contrôle	99.E180 le 28.01.99
Ultrasonore :		

2 - ESSAIS DE TRACTION : exécutés par : COQUANT Présence APAVE2 le : 29.01.99

Repère de l'éprouvette	Dimensions de la section de l'éprouvette mm — transversale intéressant : toute l'épaisseur	une fraction de l'épaisseur	Rm N/mm²	Re N/mm²	A %	Z %	Localisation de la cassure : Métal de base	Métal fondu	REMARQUES
				éprouvette cylindrique uniquement — Valeurs à obtenir					
			≥ 410						
1	14,5x6,5		493				OUI		R A=5
2	14,6x6,3		487				1		1

3 - ESSAIS DE PLIAGE : exécutés par : COQUANT Présence APAVE2 le : 29 01 99

Repère de l'éprouvette	Éprouvette : Transversale	Longitudinale	Ø Poinçon (4 "t") mm	Sens du pliage et dimensions de la section mm : Endroit	Envers	Côté intéressant : totalité de "t"	fraction de "t"	REMARQUES
1 EN			22	15x5,5				Lanière à 4e à 120°
2 EN				15x5,5				
1 EV					15x5,5			
2 EV					15x5,5			

« t » : épaisseur

4 - ESSAIS DE RÉSILIENCE :

exécutés par : ..... le :

Dimensions des éprouvettes : .....

Valeurs à obtenir KCV J/cm²	Nuance ①	Nuance ②
Minimale		
Moyenne		

Repère de l'éprouvette	0°C	Position de l'éprouvette : Peau = p ; Mi-épaisseur = e ; Racine = r	KCV J / cm² Emplacement de l'entaille : MF/(VWT) Ind.	MF/(VWT) Moy.	ZAT(VHT) Nuance ① Ind.	ZAT(VHT) Nuance ① Moy.	ZAT(VHT) Nuance ② Ind.	ZAT(VHT) Nuance ② Moy.	REMARQUES

QMOS D'UNE ENTREPRISE (suite)

PV. QMOS N° : 9135-02-EN.

CAQ 0520-94 – Rév : 1 4/4

5 - DURETÉS HV10 :

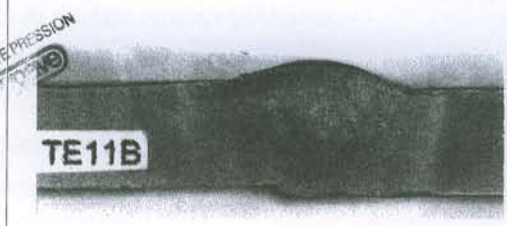
Essais exécutés oui ☐ non ☒ par : ..... le : .....

Valeur maximale acceptable sur soudure monopasse : ..... sur soudure multipasse : .....

Emplacement des mesures	N° filiation	Résultats

6 - EXAMEN MACROGRAPHIQUE exécuté par : COQUANT le : 29-01-99

Réactif d'attaque : NITAL 3% Grandissement : x3



Repère éprouvette n° 1 : TE11B

Résultat : Satisfaisant
bonne répartition et inter-pénétration des cordons

7 - AUTRES EXAMENS OU ESSAIS

Désignation des annexes	Nom et signature de l'examinateur de l'organisme d'inspection	Nom et signature du représentant du constructeur ou fabricant
1. D.M.O.S 2. C.C.P.U 3. P.V. Ressuage Radio 4. PV Mesures d'apport	J. DEVOS	COQUANT P. DORCHIES 88261 WAHAGNIES

9. LE CONTRÔLE EN SOUDAGE D'APRÈS LES NORMES

Les contrôles en soudage constituent une opération de la plus haute importance.
Seuls sont habilités à les conduire :
– les soudeurs eux-mêmes, lorsqu'ils sont qualifiés selon la norme européenne EN 287, et qu'il s'agit d'opérations directement liées à la procédure de soudage.
– les opérateurs qualifiés par le C.O.F.R.E.N.D (1), selon leur niveau.
Toutes les informations figurent sur le DMOS (2) :

(1) Comité français des essais non destructifs

(2) Descriptif du mode opératoire de soudage

AVANT

1 Le numéro du lot des électrodes ou du métal d'apport à employer.
(un lot d'électrodes s'identifie par un N° de coulée de l'acier constituant l'âme métallique ainsi que par le type d'enrobage.)

2 La température et la durée de l'étuvage des électrodes.

3 La géométrie du chanfrein.

4 Le réglage de la tension et de l'intensité de soudage du poste générateur.

5 La température et l'étendue du préchauffage.

PENDANT

1 Les conditions de stockage des électrodes pour éviter la reprise d'humidité de l'enrobage.

2 La température entre les passes de soudage.

3 La qualité de l'élimination du laitier.

4 Les contrôles visuels ou par ressuage entre passes.

APRÈS

1 Les essais destructifs de caractérisation des éprouvettes :
– texture (pliage),
– traction,
– résilience,
– dureté,
– macro et micrographie.

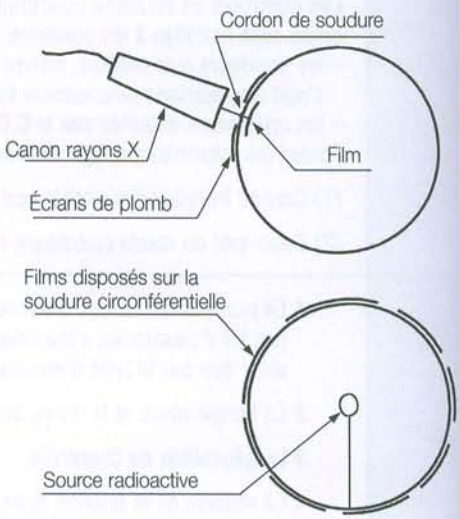
2 Les essais non destructifs :
– ressuage,
– magnétoscopie,
– ultrasons,
– radiographie.

3 Le cycle thermique du TTAS (1), temps de montée en température, température atteinte, durée du maintien à cette température, durée du refroidissement.

(1) Traitement thermique après soudage

RADIOGRAPHIE

La soudure et la ZAT(1) sont traversées par une émission de rayons X ou γ (gamma).
Les rayons X sont créés par des canons alimentés par un courant à très haute tension.
Les rayons γ sont émis par les éléments radioactifs, lorsqu'ils sont utilisés, le procédé s'appelle la **gammagraphie**.
Les défauts rencontrés apparaissent, sur les films, selon des taches plus ou moins sombres suivant leur nature.



Désignation	Type de défaut	Apparence radiographique
Inclusions gazeuses	Cavités sphériques ou longiformes	Taches sombres nettement définies
Inclusion de laitier ou autres matières étrangères	Cavités allongées contenant le laitier ou l'élément étranger	Taches sombres à contours irréguliers souvent parallèles à la soudure
Mauvaise reprise au changement d'électrode	Brusque variation de section du cordon de soudure	Taches sombres isolées à la reprise d'une soudure
Manque de pénétration	Fusion incorrecte entre le métal de base et le métal d'apport	Lignes sombres continues ou intermittentes, au milieu de la soudure
Fissures longitudinales ou transversales	Fractures dans le métal Arrachement lamellaire	Fines lignes sombres rectilignes ou non
Caniveaux	Rainures ou gorges à la surface de la tôle parallèles à la soudure	Lignes sombres, parfois larges et diffuses, le long du bord de la soudure

(1) Zone affectée thermiquement

Le contrôle en soudage d'après les normes

Comme dans toute activité de production, le contrôle est imposé. À chaque étape de la fabrication une vérification est nécessaire pour assurer la qualité du produit. Le cahier des charges donne des indications permettant de maîtriser la qualité souhaitée.

Dans le soudage, une multitude de paramètres peuvent influencer la qualité et la sécurité dans le fonctionnement ou l'utilisation du produit fabriqué. Des normes ont été élaborées pour cadrer les différentes applications et exécutions des soudures. Dans ce domaine, il est indispensable de les respecter. Elles doivent être connues des personnels et des opérateurs avant l'exécution d'un assemblage. Mais cela ne suffit pas ; il est dans l'ordre des choses de procéder aux différents contrôles. Ils s'effectuent en trois temps: avant, pendant et après soudage. Même si la qualité n'est pas définie avec précision, ce qui peut arriver pendant la formation, l'élève, l'apprenti, l'auditeur doivent être sensibilisés à cette démarche.

9.1. DÉFINITION DES TROIS TEMPS DE CONTRÔLE

AVANT LE SOUDAGE

L'opérateur doit s'assurer et vérifier si la préparation est bien celle préconisée pour effectuer la soudure.

- Préparation des bords
- Jeu entre les parties à assembler
- Type de soudage « procédé »
- Position de soudage
- Propreté générale du joint à souder

Toutes ces informations permettent de vérifier le respect du cahier des charges, du DMOS.

PENDANT LE SOUDAGE

Le métier de soudeur demande de très bonnes qualités visuelles et une maîtrise parfaite du geste.

Ce contrôle est effectué par le soudeur lui-même qui peut modifier la position de la source d'énergie afin obtenir un dépôt de métal régulier, stable et proportionné, sans défaut apparent.

Exemple: le caniveau est un défaut visible en cours de soudage. Le soudeur influence le résultat en modifiant la vitesse d'avance ou en diminuant l'intensité de soudage, voire en modifiant l'orientation de la source d'énergie.

APRÈS LE SOUDAGE

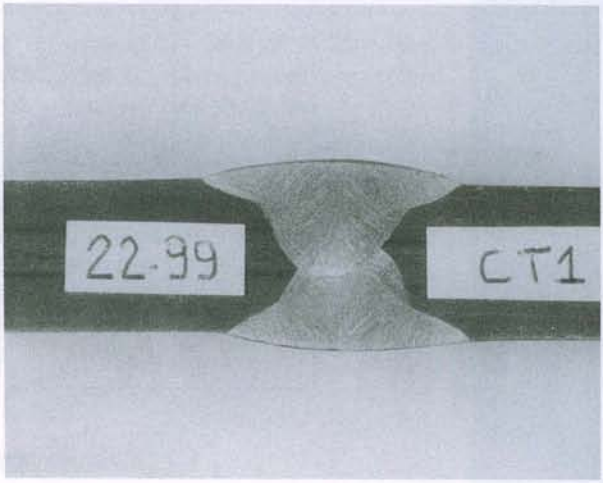
Il se compose de trois types de contrôles :

1 – le non destructif

2 – le destructif

3 – le semi-destructif

Chacun de ces types peut être imposé par le bureau d'études, mais revêt un caractère important dans la qualification du soudeur et la qualification de la procédure de soudage.



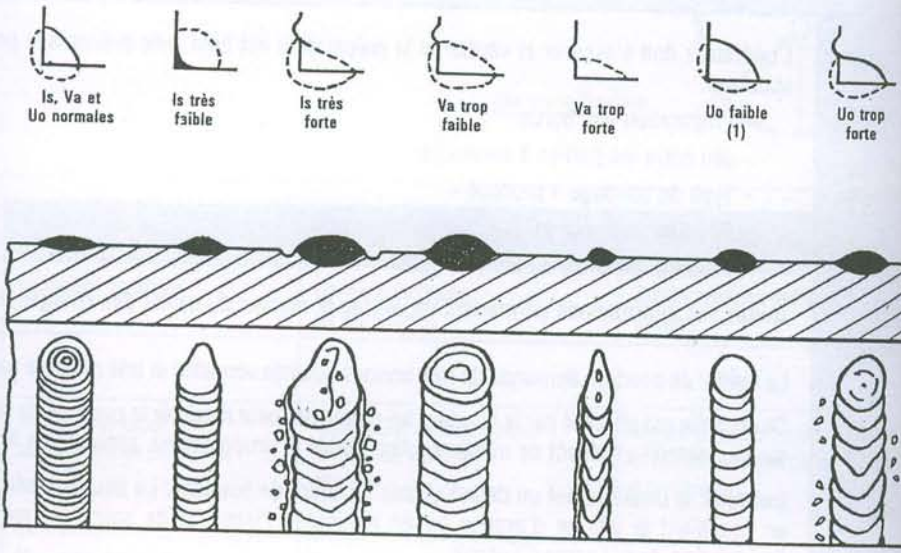
9.2. TYPES DE DÉFAUTS EN SOUDAGE

INFLUENCE DES PARAMÈTRES D'EXÉCUTION

Ces défauts doivent être connus de tous les opérateurs. Ils sont provoqués par le manque de respect de certains paramètres sur lesquels le soudeur peut agir en ayant une démarche logique d'analyse. Il identifie le défaut, il détermine le ou les paramètres en cause et il y remédie.

DÉFAUTS APPARENTS

INFLUENCE DE L'INTENSITE DE SOUDAGE (Is), DE LA VITESSE D'AVANCEMENT (Va) DE L'ELECTRODE ET DE LA TENSION A VIDE DU POSTE (Uo)



	Is, Va et Uo normales	Is très faible	Is très forte	Va trop faible	Va trop forte	Uo faible (1)	Uo trop forte
FUSION	Normale	Trop molle	Très crépitante	Normale	Assez irrégulière	Douce	Fusante et irrégulière
ASPECT DU CORDON	Harmonieuse	Trop bombée Inesthétique	Plate Déformée	Trop bombée Inesthétique	Semi-bombée et déformée	Semi-bombée	Plate Risque de déformation
PÉNÉTRATION	Régulier et propre	Régulier et propre	Très irrégulier et malpropre (projections)	Assez régulier à plat Déformé en angle	Irrégulier et à stries allongées	Propre et régulier	Irrégulier Projections fines et nombreuses
CRATÈRE	Optimale	Faible	Trop grande inutile et dangereuse	Grands risques d'effondrement	Faible	Faible mais acceptable	Élevée
	Circulaire et sain	Déformé mais sain	Déformé mais risques de soufflures et criques	Régulier mais profond	Déformé avec risques de soufflures	Régulier et peu profond	Assez régulier
AUTRES DÉFAUTS PROBABLES	Néant	Risque de porosités et d'inclusions de laitier	Caniveaux (surtout si la vitesse est grande) soufflures criques	Caniveaux et muraille en angle (mauvaise tenue de l'électrode)	Caniveaux et soufflures Fissuration si bridage	Néant si l'électrode est bien étudiée1	Risques de soufflures si l'électrode n'est pas adaptée

9.3. TABLEAU DES DÉFAUTS, CAUSES ET REMÈDES

Il est intéressant de compléter le tableau ci-contre par les observations suivantes :

Le soudeur à l'arc, certes, doit éviter la formation de tout défaut.

Toutefois, le paramètre économique étant primordial, il est nécessaire de bien faire la relation entre le type de défaut et la nature des efforts subis par la pièce ou la construction soudée.

Il y a toujours un seuil d'acceptabilité du défaut.
Des efforts statiques peuvent s'accommoder à la rigueur des défauts suivants, mais de peu d'amplitude ou isolés : **caniveaux, inclusions de laitier**, porosités réparties, défaut d'aspect, dissymétrie des soudures et **manque de pénétration** à l'envers de la soudure.

De tels défauts ne peuvent pas, par contre, être admis sur des constructions travaillant à la fatigue. Il en est notamment ainsi de ceux créant des amorces de criques caractérisées (en gras ci-dessus).

Les défauts suivants ne peuvent être admis, même pour des constructions courantes : manque de pénétration et collage entre passes, manque d'épaisseur des soudures bout à bout, fissures dans le métal déposé ou le métal de base, formation de soufflures généralisées etc...

Tous ces défauts ont pour conséquence de diminuer la section de la soudure, en augmentant son taux de travail sous efforts statiques ; la valeur de ce dernier pouvant être, de plus, dangereusement augmentée par suite d'une malencontreuse concentration de tensions.

On pourra se référer aux normes ISO 6520 et ISO 5817

DÉFAUTS	CAUSES	REMÈDES
Projections : L'électrode crache en formant des gouttes plus ou moins volumineuses aux abords de la soudure	Courant trop élevé Électrode humide Mauvaise prise de masse	Régler l'intensité. Étuver les électrodes. Changer de place la prise de masse : influence du soufflage magnétique.
Mauvais aspect de la soudure : surface rugueuse, non brillante, cordon déformé, etc...	Électrodes humides Mauvaise préparation du joint Acier de base trop chargé en carbone	Étuver les électrodes. La modifier. Choisir de préférence une électrode rutile de bonne qualité ou mieux une basique.
Soufflures dans la soudure : des trous, des manques de métal (forme sphérique ou vermiforme) sont observés au sein de la soudure. Piqûres en surface des soudures	Tôles humides ou oxydées, huile en surface Tôles de base trop chargées en soufre ou en carbone : soudabilité difficile Électrodes humides	Sécher ou dégraisser, nettoyer les tôles. Utiliser une électrode basique À la limite: préchauffage jusqu'à disparition des soufflures. Étuver les électrodes, particulièrement les basiques.
Morsures et caniveaux le long de la soudure : des sillons plus ou moins réguliers répartis de part et d'autre de la soudure, diminuent l'épaisseur de l'assemblage et créent des amorces de rupture	Intensité trop élevée Tôles trop oxydées Mauvais balancement de l'électrode : insister sur les bords de la soudure	Remédier à ces causes en pensant toujours qu'une vitesse d'avance trop rapide favorise la formation de ces défauts. En soudage d'angle, la position de l'électrode joue un rôle important.
Manque de pénétration : la soudure n'est pas continue à l'envers	Mauvaise préparation ou écartement insuffisant Électrode trop grosse	L'intensité étant bien réglée pour le diamètre choisi, ajuster l'écartement. Choisir un diamètre plus faible.
Inclusions de laitier : le laitier reste emprisonné entre les passes ou en surface	Multiples : tôles oxydées, manque d'intensité, mauvaise préparation des couches ou mauvais piquage entre passes.	Les tôles étant propres, les cordons plats, veiller surtout à ne pas créer d'angles, de caniveaux, où le laitier s'incruste. Sur les joints de haute sécurité meuler entre les passes.
Cordon trop bombé ou trop creux	Vitesse de soudage et intensité mal réglées.	Faire varier les deux paramètres.
Criques dans la soudure : une fissure se forme dans le métal déposé, lors du refroidissement, donc sous l'effet des retraits.	Complexes et nombreuses : acier trop dur (% C élevé), épaisseur et retraits importants, manque de pénétration ou section de soudure insuffisante, température extérieure trop basse, électrodes humides, etc...	Dans l'ordre croissant des difficultés : choisir un diamètre supérieur ou diminuer la vitesse de soudage (augmentation du volume de métal déposé), choisir une électrode basique, préchauffer, changer de séquence de soudage (diminution des retraits).

10. LES ESSAIS DE SOUDAGE

10.1. ESSAIS NON DESTRUCTIFS

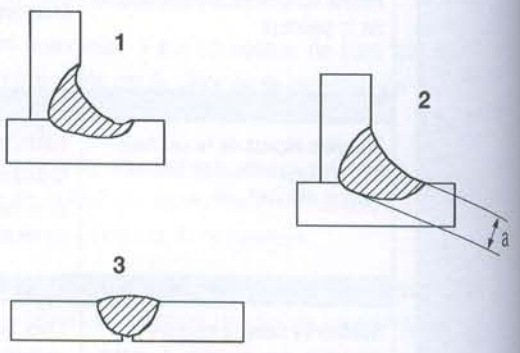
VISUELS

Ce contrôle s'opère essentiellement par le soudeur lui-même.
Il lui permet d'affiner ses réglages et de régler sa vitesse d'avance.

1 la présence de caniveaux

2 une sur-épaisseur ou une sous-épaisseur (gorge a)

3 un manque de pénétration.



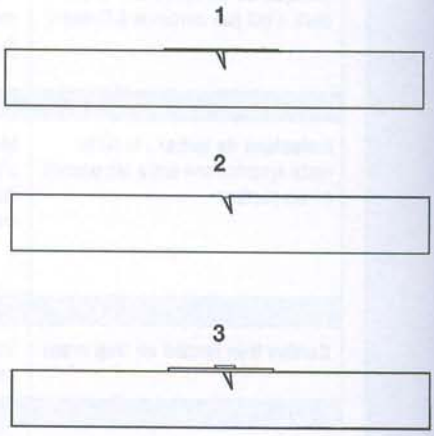
D'ÉTANCHÉITÉ

Ce contrôle s'effectue par remplissage d'eau et montée en pression. Il permet en outre de vérifier la contenance du réservoir.
La pression d'épreuve est de 1,5 à 2 fois la pression de service.
Compte tenu du danger que cela représente, le contrôle à l'air comprimé ne peut s'opérer que pour des pressions inférieures à 3 MPa.
Pour les petites capacités, lorsqu'il est recherché une étanchéité parfaite, le contrôle peut se faire en immergeant le réservoir, soumis à un vide poussé, dans une atmosphère d'hélium. Un spectromètre de masse, placé à l'intérieur du réservoir, mesure la quantité d'hélium éventuellement pénétré.
Ce procédé ne permet pas de localiser la fuite.

PAR RESSUAGE

Le ressuage consiste à badigeonner la soudure et son environnement d'un liquide très fluide et très peu volatil : « le rouge d'organol »

La grande fluidité de ce produit lui permet de pénétrer les micro-fissures débouchantes. (1)
Après un essuyage minutieux, la zone est recouverte de talc en suspension dans un aérosol. (2)
Les résidus de rouge d'organol présents dans les fissures, apparaissent sous la forme d'auréoles rouges. (3)



FLUORESCENCE

La fluorescence s'effectue dans les mêmes conditions que le ressuage.
Le rouge d'organol est remplacé par une encre fluorescente mise en évidence sous une lumière ultraviolette.
Le talc est remplacé par un renforçateur à base de silice.

Les essais de soudage

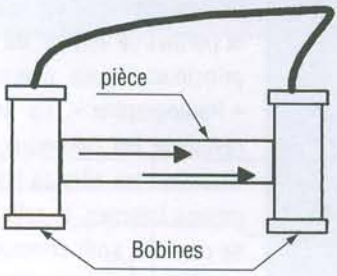
MAGNÉTOSCOPIE

La magnétoscopie consiste à enduire une pièce d'une encre chargée en poudre de fer et à créer un champ magnétique perpendiculaire au défaut probable.
Si la pièce *(ferromagnétique)* est homogène, la poudre de fer restera répartie uniformément.
A l'endroit d'un défaut, les lignes d'induction étant déviées, il se produit une concentration de poudre de fer, que ce défaut soit débouchant ou non.

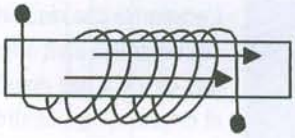
– un electro-aimant classique, (1)

– une bobine d'induction créant un courant de Foucault (2)

1



2



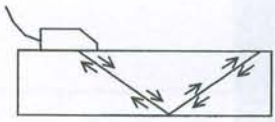
LES ULTRASONS U. S.

La méthode consiste à émettre un signal ultra-sonore, émis par un palpeur, sous un angle d'incidence, dans une pièce perméable aux ultrasons et d'en recueillir l'onde réfléchie.
Si les U. S. ne rencontrent aucun obstacle, ils atteindront la face inférieure de la pièce et se réfléchiront suivant un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. (1)
Si les U. S. rencontrent un défaut sur leur parcours, celui-ci constituera une surface réfléchissante et le palpeur recueillera deux ondes réfléchies. (2)
Tous les palpeurs sont émetteurs-récepteurs.
Il en existe différents types dont la particularité essentielle est l'angle d'incidence d'émission des U. S.
Il est indispensable avant l'opération :

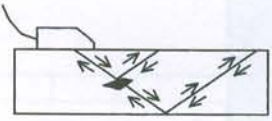
– d'étalonner l'oscilloscope et le palpeur à l'aide de la cale étalon.

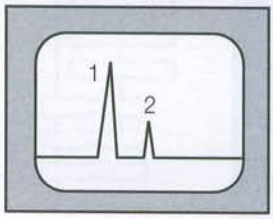
– de constituer l'interface d'émission des U. S. en lubrifiant la surface de la pièce sur laquelle glissera le palpeur. (*de la colle de tapissier convient très bien*).

1

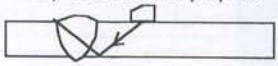


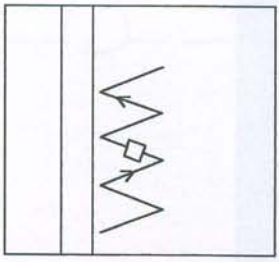
2





déplacement du palpeur





Ministère de l'Education et de la Formation
Centre Sectoriel de Formation en Métallurgique de Bois Cédria 71.421.570
A.T.F.P

Les essais de soudage

LE NON DESTRUCTIF

Le non destructif est le plus employé en raison du fait qu'il ne remet pas en cause l'ouvrage et permet de vérifier, de rectifier l'état du cordon tant sur le plan interne qu'externe. Les trois principaux types d'essais sont, le RESSUAGE, l'ULTRA-SON, les RAYONS IONISANTS « Radiographie ». Le premier permet de déceler les défauts apparents ou débouchants (exemple les caniveaux, les fissures, les soufflures, etc.). Les deux autres permettent de visualiser les défauts intérieurs (exemple : les soufflures gazeuses, les inclusions, les fissurations internes, le collage entre les passes, le manque de pénétration, etc.). Ces opérations de contrôle sont effectuées par des personnels qualifiés ayant les compétences nécessaires pour interpréter les défauts relevés et leur donner un niveau d'acceptation selon les normes imposées.

L'ensemble des résultats de ces contrôles est consigné. Selon la qualité de recherche, certains de ces contrôles sont effectués suivant sondage situé par le cahier des charges. En général chaque fois qu'il y a des nœuds en soudage c'est-à-dire deux soudures perpendiculaires (longitudinale et circulaire), un contrôle est systématique.

10.2. ESSAIS DESTRUCTIFS

L'IMPLANTATION DES ÉPROUVETTES

① Éprouvette prismatique de traction d'une largeur de 20 mm sur toute l'épaisseur de l'assemblage.

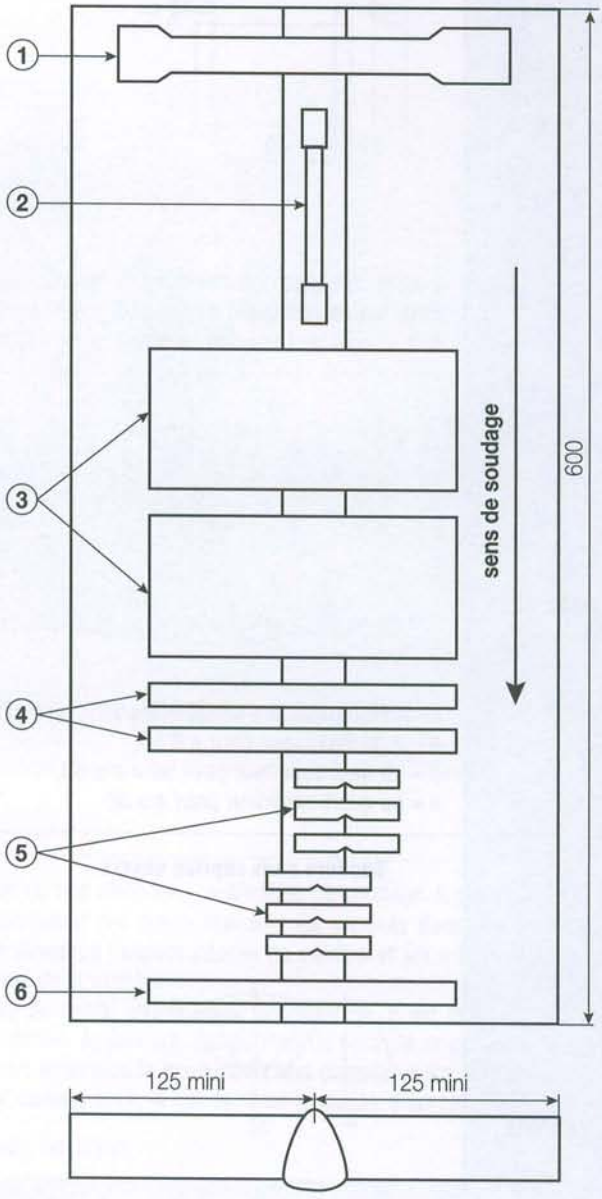
② Éprouvette cylindrique de traction, longueur 120 mm, Ø 10.
Elle est prélevée au tiers supérieur de l'épaisseur.

③ Éprouvettes de pliage endroit et envers, largeur 50 mm, épaisseur 10 mm ou épaisseur de l'assemblage.

④ Éprouvettes de pliage de côté, épaisseur 10 mm, largeur égale à l'épaisseur de l'assemblage.

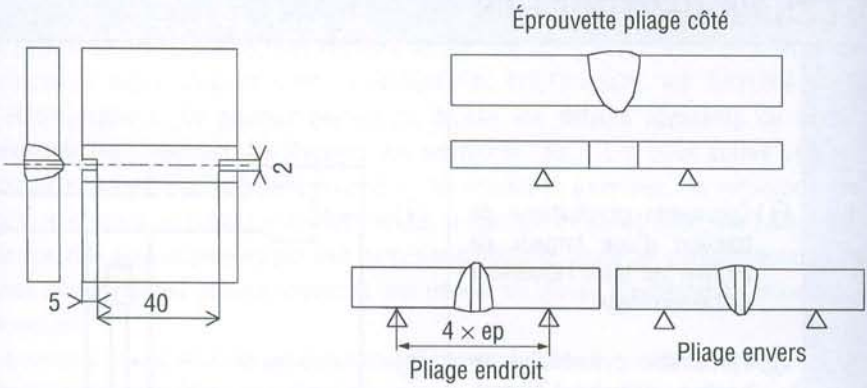
⑤ Éprouvettes de résilience. La section normalisée est de 10 X 10 mm. Elle peut être de 10 X 7,5 ou 10 X 5 selon l'épaisseur de l'assemblage.

⑥ Éprouvette de macrographie, micrographie et dureté.



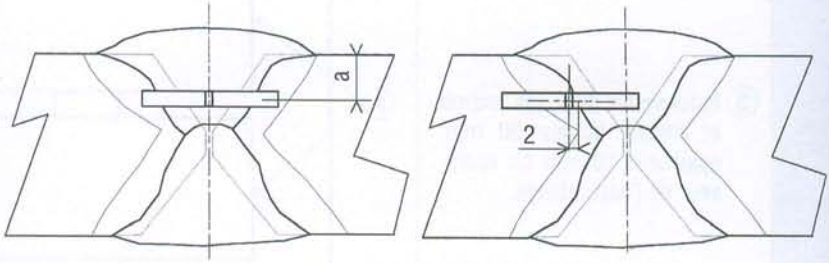
Les essais de soudage

ESSAI DE TEXTURE PLIAGE



L'essai de pliage doit être conduit jusqu'à un angle de 120°.
Pour les assemblages d'épaisseur > 12 mm les éprouvettes de pliage endroit et envers peuvent être remplacées par des éprouvettes de pliage côté.

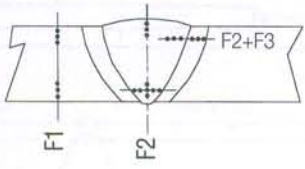
RÉSILIENCE



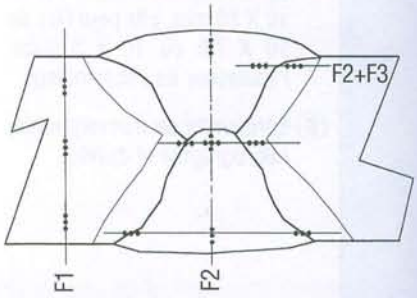
Le prélèvement des éprouvettes varie selon l'épaisseur de l'assemblage :
a = à mi-épaisseur pour e ≤ 50,
a = au tiers supérieur pour 50 < e ≤ 80,
a = au quart supérieur pour e > 80.

DURETÉ

Soudure sans reprise envers



Soudure avec reprise envers

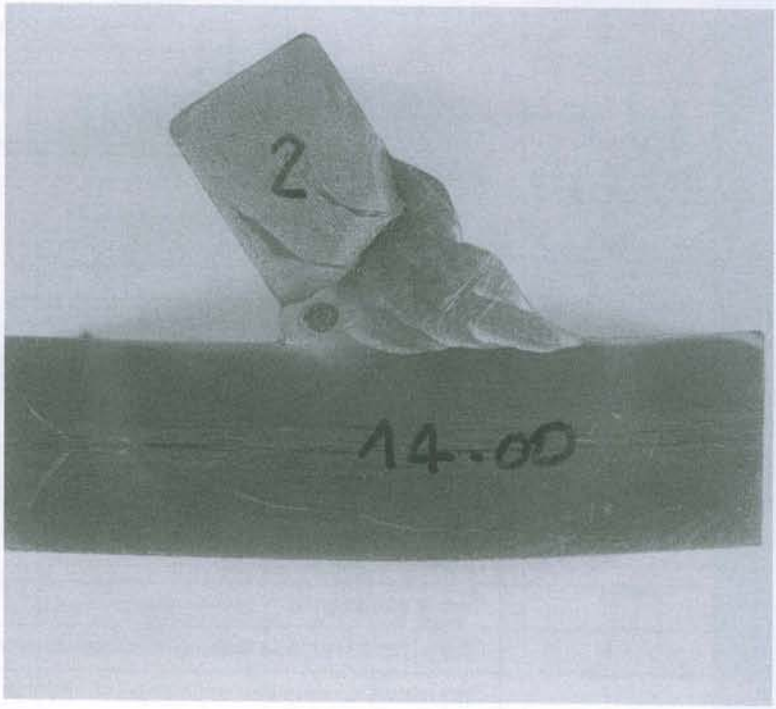


La mesure des duretés s'opère en dureté Vickers HV5. Ce sont généralement des groupes de trois points distants de 0,5 mm qui constituent la filiation.
Trois zones sont obligatoirement mesurées :

- le métal de base F1,
- le métal déposé F2,
- la zone affectée thermiquement Z.A.T. F3.

MACROGRAPHIE MICROGRAPHIE

La macrographie est un témoin de référence du nombre et de la répartition des passes pour juger de l'application des limites de validité fixées par la qualification du mode opératoire. Aucune fissure ni collage n'est accepté.
La micrographie ne doit pas révéler de structures anormales de trempe, de micro-fissures ou de précipités pouvant nuire au bon comportement de l'acier dans le cas des aciers inoxydables austénitiques.



LE DESTRUCTIF

Le destructif est employé pour attester du bon choix des paramètres de soudage. Il permet d'homologuer le procédé, le DMOS*. Il comprend des essais mécaniques prélevés dans une éprouvette. Les macrographies mettent en évidence l'aspect interne du cordon et les micrographies servent à des études métallographiques de la matière.
Ce type de contrôle atteste du respect du cahier des charges de l'ouvrage. Il est indispensable pour assurer la qualité demandée. Il certifie, également, les normes de sécurité imposées par la normalisation en vigueur. Il est situé en amont de la production afin d'apporter les ajustements nécessaires à l'obtention d'un résultat correct avec, le cas échéant le niveau d'acceptation.

* (qui devient alors QMOS suite à un procès verbal PV)

10.3. ESSAIS SEMI-DESTRUCTIFS

LE SEMI DESTRUCTIF

Le semi-destructif, de moins en moins mis en œuvre, consiste à prélever une partie de l'ouvrage pour lui faire subir les essais préalablement cités. Ce type de contrôle reste possible lorsque le prélèvement n'altère pas la qualité de l'ouvrage. Chose rare mais parfois imposée par le commanditaire.

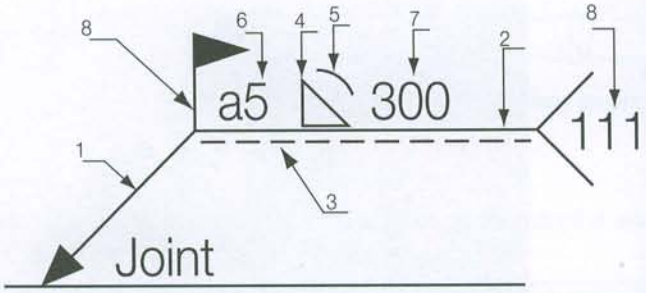
11. CODIFICATION ET REPRÉSENTATION NORMALISÉE DES SOUDURES

NF EN 22553 – ISO 2553

11.1. REPRÉSENTATION SYMBOLIQUE DES SOUDURES

SYMBOLISATION D'UNE SOUDURE

Les joints soudés peuvent être représentés en respectant les recommandations générales applicables au dessin technique. Dans un but de simplification il convient d'utiliser une représentation symbolique.

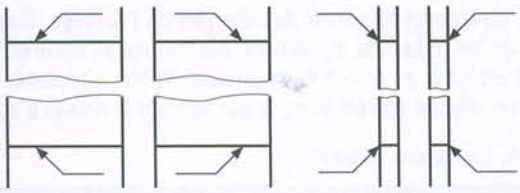


Numéro	Désignation
1	Ligne de repère
2	Ligne de référence
3	Ligne d'identification
4	Symbole de soudure
5	Symbole supplémentaire
6	Cotes principales relatives à la section transversale du cordon de soudure
7	Cotes relatives aux dimensions longitudinales du cordon de soudure
8	Indications complémentaires

LIGNE DE REPÈRE

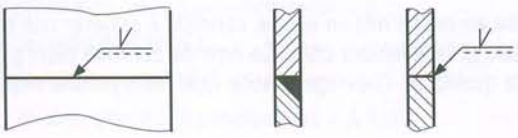
Représentation : Inclinée et terminée par une flèche qui touche la ligne de joint.

Position



Cas général : position quelconque

Soudures V Y U



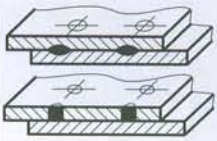
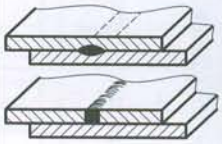
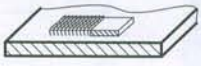
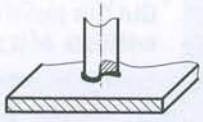
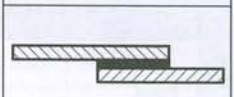
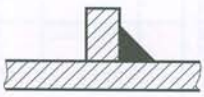
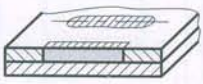
Cas de soudure en :
– demi V
– demi Y
– demi U
position dirigée vers la tôle qui est préparée.

Codification et représentation normalisée des soudures

LIGNE DE RÉFÉRENCE ET D'IDENTIFICATION

Représentation : elles doivent être tracées de préférence **parallèles** (en cas d'impossibilité perpendiculaires) **au bord inférieur du dessin.** La ligne d'identification (trait interrompu) peut être tracée au-dessus ou au-dessous de la ligne de référence (trait continu).

SYMBOLES ÉLÉMENTAIRES

Désignation	Représentation simplifiée	Symbole	Désignation	Représentation simplifiée	Symbole
Soudure sur bords relevés complètement fondus			Soudure par points		
Soudure sur bords droits					
Soudure en V			Soudure en ligne continue avec recouvrement		
Soudure en demi V			Soudure en V à flancs droits		
Soudure en Y			Soudure en demi V à flancs droits		
Soudure en demi Y			Soudure sur chant		
Soudure en U (ou en tulipe)			Soudure par rechargement		
Soudure en demi U			Assemblage de surface		
Reprise à l'envers					
Soudure d'angle			Assemblage oblique		
Soudure en entailles (en bouchon)			Assemblage replié		

Codification et représentation normalisée des soudures

EXEMPLES DE COMBINAISONS DES SYMBOLES ÉLÉMENTAIRES DE SOUDURES SYMÉTRIQUES

Désignation	Représentation simplifiée	Symbole
Soudure en double V (ou en X)		X
Soudure en K		K
Soudure en X avec méplat		Y
Soudure en K avec méplat		K
Soudure en double U		Y

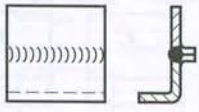
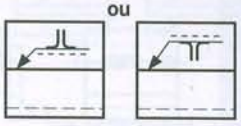
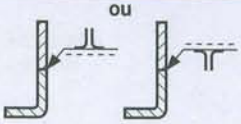
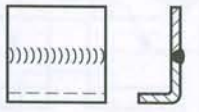
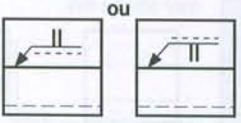
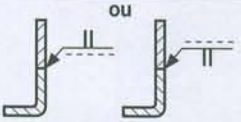
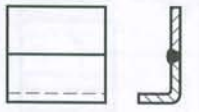
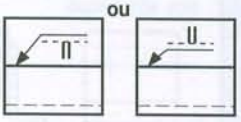
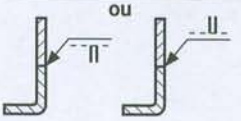
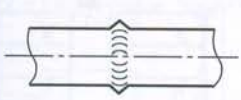
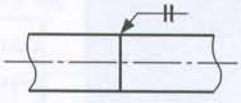
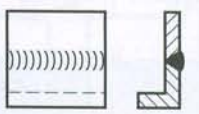
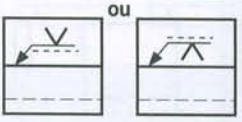
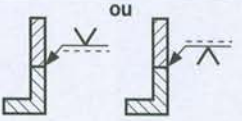
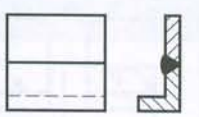
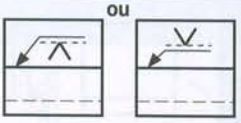
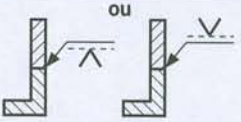
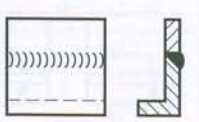
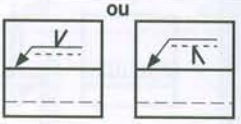
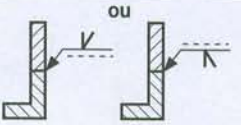
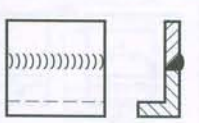
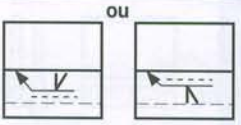
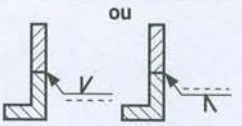
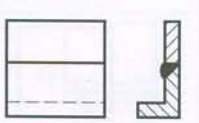
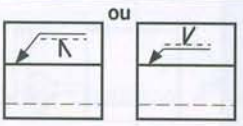
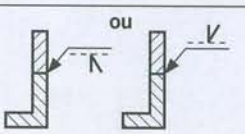
SYMBOLES SUPPLÉMENTAIRES

But : Ils peuvent compléter les symboles élémentaires pour caractériser la forme de la surface extérieure de la soudure.

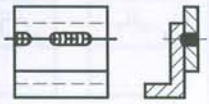
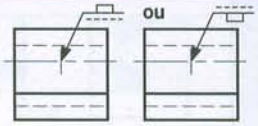
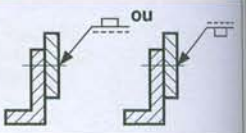
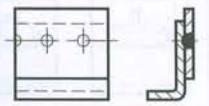
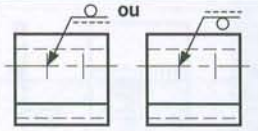
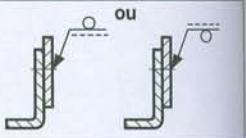
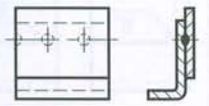
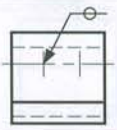
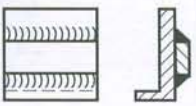
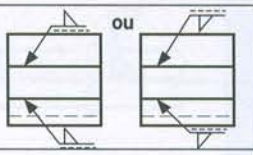
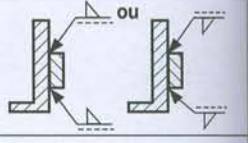
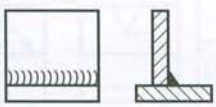
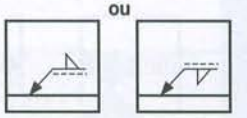
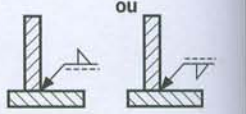
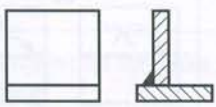
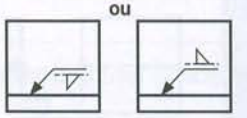
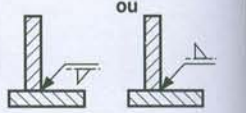
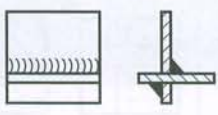
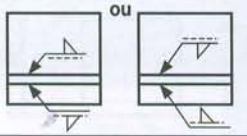
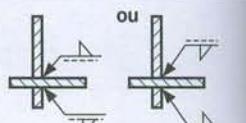
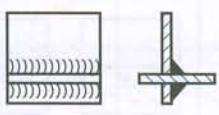
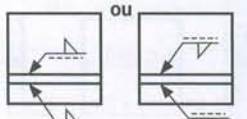
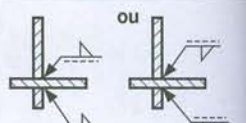
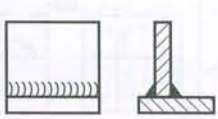
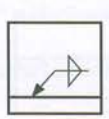
Forme de la surface de la soudure	Symbole	Forme de la surface de la soudure	Symbole
Plate	—	Les bords du cordon doivent être convenablement mouillés	
Convexe		Support à l'envers subsistant	M
Concave		Support à l'envers enlevable	MR

11.2. POSITION DES SYMBOLES

EXEMPLES DE POSITION DE SYMBOLES

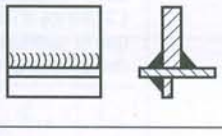
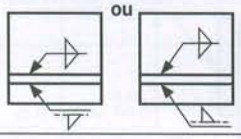
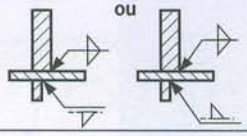
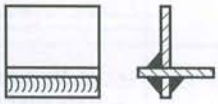
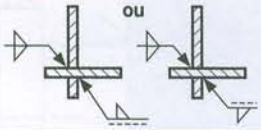
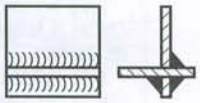
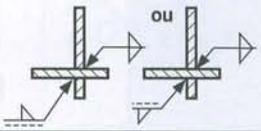
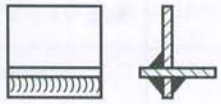
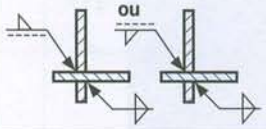
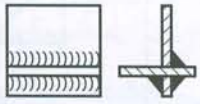
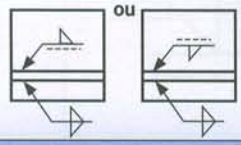
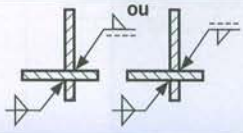
DÉSIGNATION ET SYMBOLE	Représentation	Symbolisation	
		soit	soit
SOUDURE SUR BORDS RELEVÉS			
SOUDURE SUR BORDS DROITS			
			
			
SOUDURE EN V			
			
SOUDURE EN DEMI V			
			
			

Codification et représentation normalisée des soudures

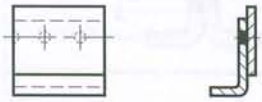
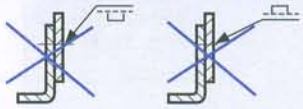
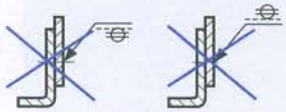
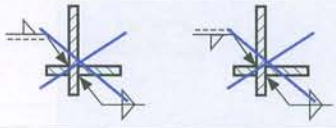
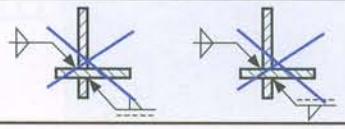
EXEMPLES DE POSITION DE SYMBOLES	DÉSIGNATION ET SYMBOLE	Représentation	Symbolisation soit	Symbolisation soit
	SOUDURE EN ENTAILLE			
	SOUDURE PAR POINTS			
				
	SOUDURE D'ANGLE			
				
				
				
				
				

Codification et représentation normalisée des soudures

EXEMPLES DE POSITION DE SYMBOLES

DÉSIGNATION ET SYMBOLE	Représentation	Symbolisation soit	Symbolisation soit
SOUDURE D'ANGLE			
		non recommandée dans cette vue	
		non recommandée dans cette vue	
		non recommandée dans cette vue	
			

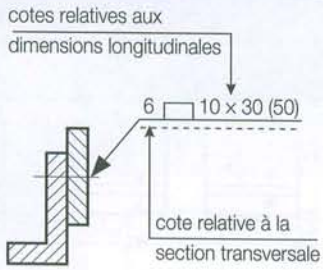
EXEMPLES DE POSITION INCORRECTE DE SYMBOLES

Symbole	Position incorrecte — Représentation	Position incorrecte — Symbolisation incorrecte
		
		
		
		

11.3. COTATION DES SOUDURES

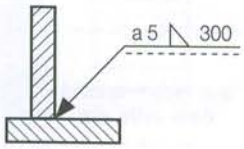
COTATION DES SOUDURES

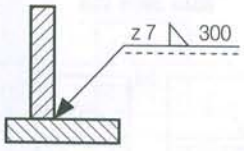
Position des cotes



• **À gauche du symbole** les **cotes** principales relatives à la **section transversale.**

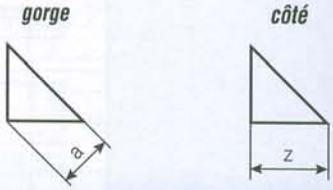
• **À droite du symbole** les **cotes** relatives aux **dimensions longitudinales.**
L'absence d'indication après le symbole indique que la soudure est continue sur toute la longueur des éléments soudés.

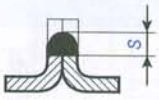
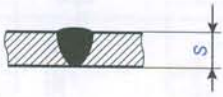
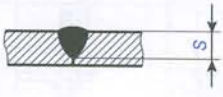
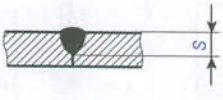




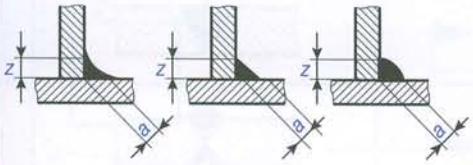
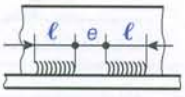
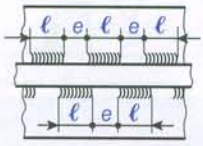
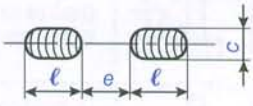
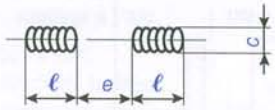
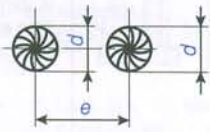
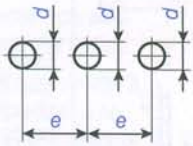
• Cas des **soudures d'angle**
Il existe **deux méthodes** pour définir la section du cordon :
– avec la valeur de la gorge du cordon.
Placer la **lettre *a* devant la valeur de la gorge du cordon.**
– avec la valeur du côté du cordon.
Placer la **lettre *z* devant la valeur du côté du cordon.**

Nota : $z = a\sqrt{2}$



Désignation	Représentation	Inscription	Exemple
Soudure sur bords relevés non complètement pénétrée			
Soudure bout à bout			
			
			

Codification et représentation normalisée des soudures

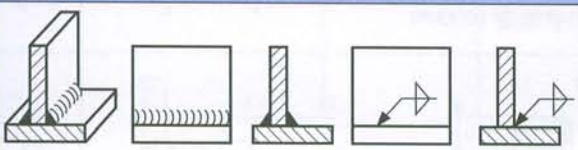
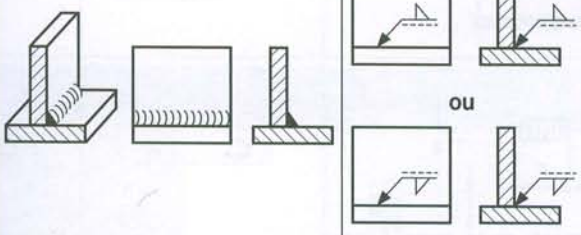
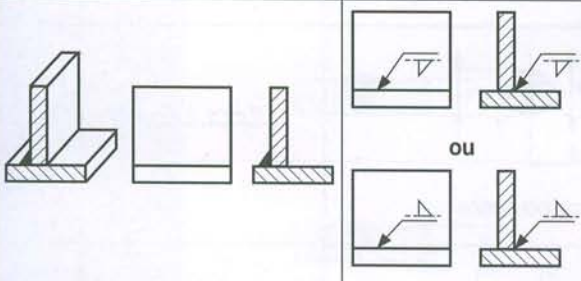
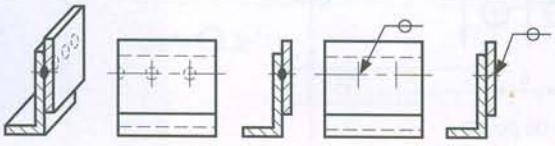
Désignation	Représentation	Inscription	Exemple
Soudure d'angle continue		a a ou z z	a 5 ou z 7
Soudure d'angle discontinue	 *n* : nombre d'éléments de soudure	a a $n \times \ell$ (e) ou z z $n \times \ell$ (e)	a 5 10 × 50 (100) ou z 7 10 × 50 (100)
Soudure d'angle discontinue à éléments alternés	 *n* : nombre d'éléments de soudure	a a $n \times \ell$ (e) a a $n \times \ell$ (e) ou z z $n \times \ell$ (e) z z $n \times \ell$ (e)	a 5 10 × 50 (100) a 5 10 × 50 (100) ou z 7 10 × 50 (100) z 7 10 × 50 (100)
Soudure en entailles	 *n* : nombre d'entailles	c □ $n \times \ell$ (e)	5 □ 10 × 20 (50)
Soudure en ligne	 *n* : nombre d'éléments de soudure	c ⊖ $n \times \ell$ (e)	5 ⊖ 10 × 20 (50)
Soudure en bouchons	 *n* : nombre de bouchons	d □ n (e)	5 □ 10 (50)
Soudure par points	 *n* : nombre de points	d ○ n (e)	5 ○ 10 (50)

Codification et représentation normalisée des soudures

EXEMPLES D'APPLICATIONS DES SYMBOLES SUPPLÉMENTAIRES

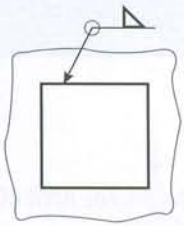
Désignation	Représentation simplifiée	Symbole
Soudure en V plate		
Soudure en double V (ou en X) convexe		
Soudure d'angle concave		
Soudure en V plate avec reprise à l'envers plate		
Soudure d'angle avec bords de cordon de soudure convenablement mouillés		

POSITION DU SYMBOLE PAR RAPPORT À LA LIGNE DE RÉFÉRENCE

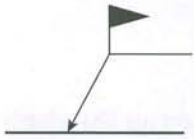
Représentation	Position de la soudure
	Pour les soudures symétriques, les symboles sont placés des deux côtés de la ligne de référence (trait continu). Dans ce cas la ligne d'identification (trait interrompu) doit être omise.
	Le symbole est placé du côté de la ligne de référence (trait continu) si la face extérieure de la soudure est du côté de la ligne de repère.
	Le symbole est placé du côté de la ligne d'identification (trait interrompu) si la face extérieure de la soudure est du côté opposé à la ligne de repère.
	Dans le cas des soudures faites dans le plan du joint, le symbole se trouve « à cheval » sur la ligne de référence (trait continu). Dans ce cas la ligne d'identification (trait interrompu) doit être omise.

Codification et représentation normalisée des soudures

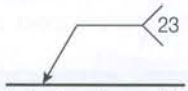
INDICATIONS COMPLÉMENTAIRES



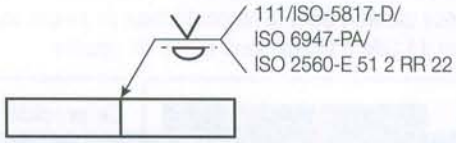
Soudures périphériques



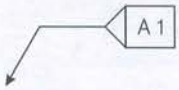
Soudures faites sur chantier



Indication du procédé de soudage



Renseignements sur le joint



Référence à une feuille séparée

Des indications complémentaires peuvent être nécessaires pour fournir des précisions sur la soudure.

- **Soudures périphériques**
Lorsque la soudure doit être exécutée sur tout le pourtour d'une pièce, ajouter un symbole circulaire.

- **Soudures faites sur chantier**
Lorsque la soudure doit être exécutée sur le chantier, ajouter un drapeau.

- **Indication du procédé de soudage**
Lorsqu'il est nécessaire d'indiquer le procédé de soudage, ajouter un nombre inscrit entre deux branches d'une fourche terminant la ligne de référence.

- **Renseignements**
Lorsqu'il est nécessaire d'indiquer des renseignements sur le joint et ses dimensions, ajouter dans la fourche (séparés par une barre oblique) dans l'ordre suivant : procédé, niveau de réception, position de travail, métal d'apport, ou faire référence à une feuille séparée.

PROCÉDÉS DE SOUDAGE EXTRAIT ISO 4063 NF EN 24063

Liste des procédés et des numérotations — **NF**

1 Soudage électrique à l'arc ; soudage à l'arc

11 Soudage à l'arc avec électrode fusible sans protection gazeuse

111 Soudage à l'arc avec électrode enrobée

12 Soudage à l'arc sous flux en poudre ; soudage à l'arc sous flux

121 Soudage à l'arc sous flux en poudre avec fil-électrode

13 Soudage à l'arc sous protection gazeuse avec fil-électrode fusible

131 soudage MIG : soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fusible

135 Soudage MAG : soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fusible

136 Soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fourré

141 Soudage TIG : soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène

15 Soudage au plasma

2 Soudage par résistance

21 Soudage par points (par résistance)

22 Soudage à la molette

23 Soudage par bossages

3 Soudage aux gaz

311 Soudage oxyacétylénique

4 Soudage par pression ; soudage à l'état solide

41 Soudage par ultrasons

42 Soudage par friction

7 Autres procédés de soudage

751 Soudage au laser

76 Soudage par faisceau d'électrons

9 Brasage

91 Brasage fort

94 Brasage tendre

97 Soudobrasage

12. LES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE RECHARGEMENT DES PIÈCES

Il s'agit des procédés suivants :

- Projection à froid
- Projection à chaud
- Soudage et rechargement par tête orbitale (exemple du procédé IDWECD 2500)
- Rechargement par plasma à arc transféré.

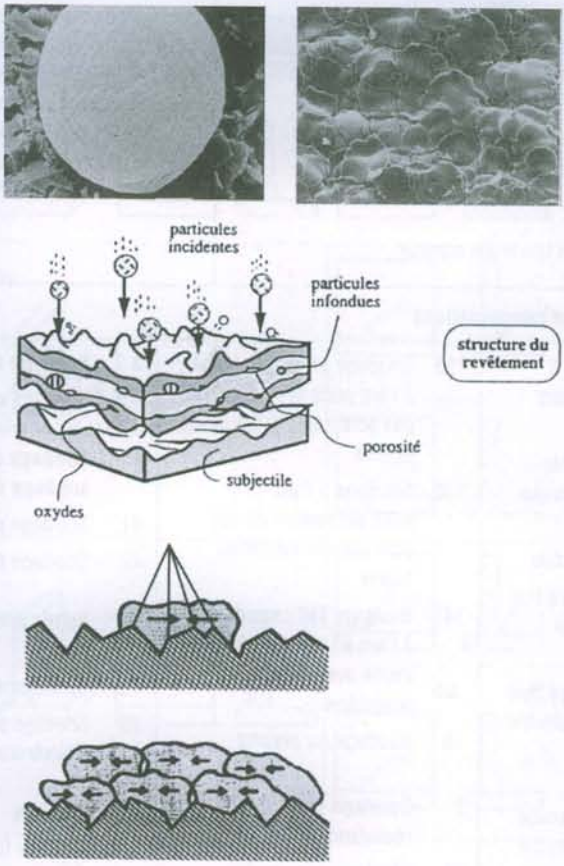
Dans certaines situations le soudeur peut être amené à réaliser des tâches connexes. Il trouvera dans les chapitres suivants quelques éléments d'informations utiles.

12.1. PROCÉDÉ À FROID

PROCÉDÉ

Projection à Froid – Ce procédé permet le rechargement à froid de pièces de toutes dimensions. Il est employé en maintenance curative pour la reconstitution de pièces usées et en maintenance préventive pour la protection à l'aide d'alliage sous forme de poudre.

PRINCIPE DE LA PROJECTION À FROID



Ce procédé repose sur l'accélération de particule métallique et un apport thermique assuré par une flamme oxyacétylénique.
Les particules sous forme pâteuse sont projetées et s'écrasent sur le support froid (on ne dépasse pas les 100-150°C).
La photo de droite illustre la structure hétérogène et la topographie du dépôt obtenu. Le dépôt est un empilage de grains (porosité de 1 à 10 %).
Entre l'alliage d'apport et le support il y a une liaison à caractère mécanique.
La valeur d'adhérence se situe entre 20 et 80 N/mm^2.
Ces caractéristiques font que :

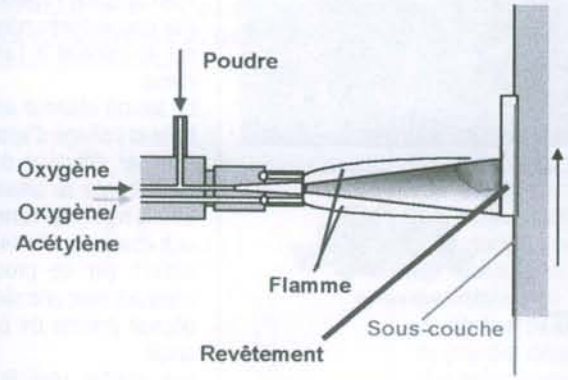
– le support nécessite une préparation pour favoriser l'accrochage ;

– le support restant « froid » il n'y a pas ou peu, de déformation de la pièce ;

– on pourra traiter des pièces de fortes dimensions pour lesquelles un procédé à chaud est impossible ;

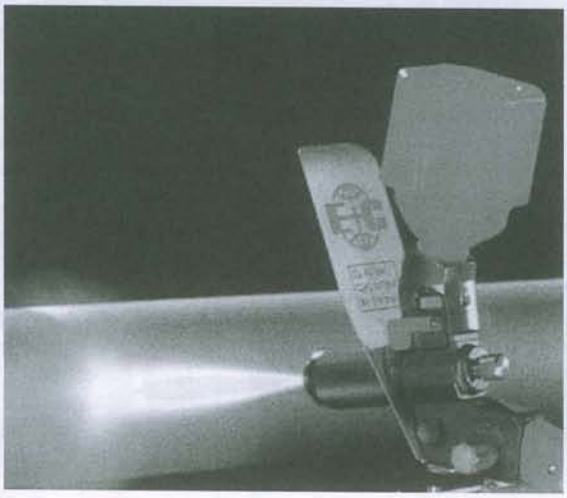
– les sollicitations ne peuvent mettre en cause que la surface du dépôt et non la liaison.

Les différents procédés de rechargement des pièces



Un alliage de rechargement est constitué d'une base (Fer, Nickel, Cobalt, Cuivre,...) et de un ou plusieurs éléments d'alliage. L'alliage déposé est en général constitué de plusieurs phases qui conditionnent les caractéristiques du rechargement.
En général, il s'agit de phases dures réparties au sein d'une matrice tenace et plus ou moins déformable.
La granulométrie et l'analyse chimique de l'alliage sont ajustées de manière à obtenir, outre la tenue en service de la pièce rechargée, une bonne mise en œuvre opératoire.

FONCTIONNEMENT



Procédé CASTOLIN DS 8000 commercialisé depuis les années 80 dans les industries mécaniques pour la réparation de portée d'arbres, de cylindres bobineurs, de piston,...
Il permet de déposer des alliages métalliques **base Fe et Cu** pour la reconstitution et les applications de frottement ; **base Ni** pour les applications anti-usures et anti-corrosion ; des **oxydes métalliques** pour les applications de tenue à l'oxydation, à la chaleur, à l'abrasion et l'érosion, en isolation électrique ; **des plastiques** pour la tenue à la corrosion.

Pour plus d'informations, se référer aux fiches techniques des procédés CASTOLIN DS 8000.

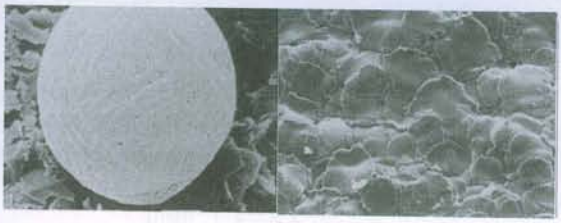
12.2. PROCÉDÉ À CHAUD

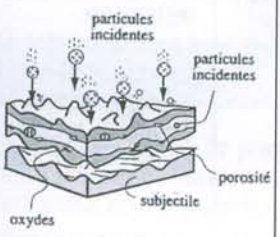
PROCÉDÉ

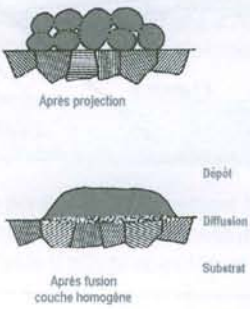
Projection à Chaud – Ce procédé permet le rechargement à chaud de pièces à l'aide d'alliages métalliques sous forme de poudre. Il est employé en maintenance curative pour la reconstitution de pièces usées et en maintenance préventive pour l'amélioration des caractéristiques de surface.

Les différents procédés de rechargement des pièces

PRINCIPE DE LA PROJECTION À CHAUD

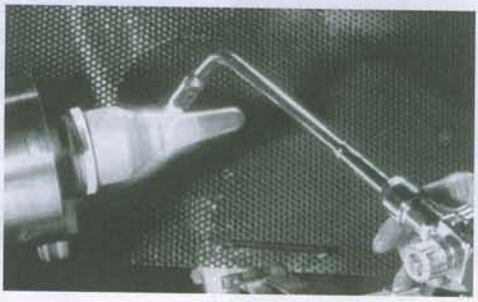




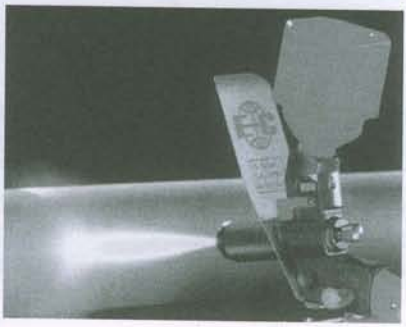


La partie projection proprement dite est identique à celle du procédé à froid (cf fiche projection à froid).
Par contre après projection le dépôt est *refusionné* à l'aide d'un chalumeau.
La liaison obtenue entre le métal de base et l'alliage d'apport est une liaison par diffusion dont les valeurs d'adhérence se situent entre 200 et 500 N/mm^2. La zone de diffusion a une épaisseur d'environ 50 µm. On obtient par ce procédé un dépôt compact avec une structure de métal déposé proche de celle d'un métal coulé.
Les dépôts réalisés peuvent aller jusqu'à 3 millimètres d'épaisseur.
La porosité résiduelle après refusion peut être proche de 0 % dans de bonnes conditions opératoires.
Les domaines d'applications sont la protection contre l'abrasion sévère sous forte pression et chocs, le frottement métal/métal, la corrosion.
Évidemment ce procédé est réservé à des dépôts métalliques sur supports aciers, aciers inoxydables et fontes.

FONCTIONNEMENT



Comme la pièce est montée en température, ce procédé ne peut s'envisager que sur des ébauches sur lesquelles on maîtrise les risques de déformation. L'usinage pour obtenir les cotes finies se fera après projection.
Dans bien des cas de revêtement anti-usures on laissera la pièce brute de dépôt.



Procédé CASTOLIN DS 8000 commercialisé depuis les années 80 dans les industries mécaniques pour la réparation de portée d'arbres, de douilles de pompe, de pales de ventilateur,...
Les poudres utilisées sont adaptées aux caractéristiques recherchées.
Pour les alliages anti-usures ce sont des matrices Ni, Cr, B, Si, auxquelles on ajoute des carbures de tungstène W^{2}C-WC.

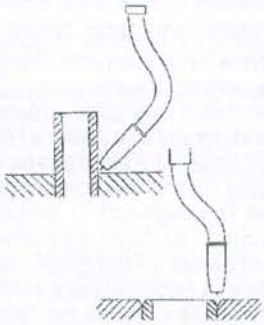
Pour plus d'informations, se référer aux fiches techniques des procédés CASTOLIN DS 8000 et CASTOFUSE.

12.3. PROJECTION À CHAUD ET FUSION SIMULTANÉE

PROCÉDÉ

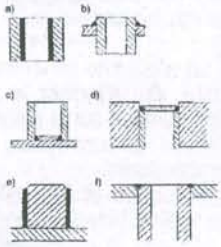
IDWELD 2500 – Ce procédé est un appareil pour soudage circulaire extérieur et intérieur, destiné principalement au revêtement d'alésages à partir d'un diamètre de 30 mm.

PRINCIPE DE L'IDWELD 2500



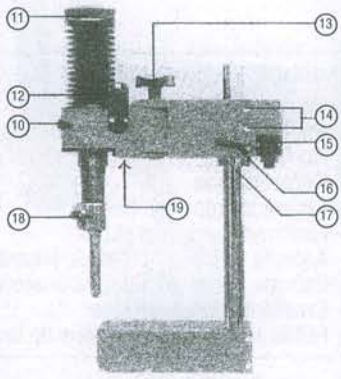
Un ensemble mécanique modulaire met en rotation, et selon les applications en translation, une tête de soudage MIG. Cette tête est équipée d'une torche spéciale à faible encombrement, ce qui conduit à des dépôts soudés circulaires de très haute qualité, même dans des endroits exigus.
Les principaux domaines d'application sont les soudures de rechargement d'alésage, les soudures circulaires d'assemblage à plat intérieur et extérieur, les soudures de jonction de passage de tube, les soudures sur pièces de grandes dimensions.
Une grande gamme d'accessoires permet un large champ d'applications.

FONCTIONNEMENT



a) Revêtement et reconstitution d'alésage
b) Soudage externe de tube sur plaque tubulaire
c) Soudage interne de tube sur plaque
d) Soudage interne de tube sur plaque tubulaire
e) Revêtement externe de portées mâles ou tourillons sur pièces difficiles à mettre en rotation
f) Soudage de tube affleurant sur plaque avec un chanfrein en vé

AVANTAGES



L'appareil se compose d'un bâti mécanique articulé de construction robuste, d'un socle de positionnement et d'un coffret de commande.
La tension d'alimentation peut être adaptée en fonction du réseau électrique à l'aide d'un sélecteur se trouvant sur le coffret de commande. Les câbles de raccordement peuvent être déconnectés. L'unité de rotation permet d'enclencher ou de déclencher la composante axiale du mouvement ainsi que de régler le diamètre du joint de soudure circulaire. La régulation électronique de la vitesse de rotation installée dans un coffret séparé comprend un indicateur affichant la valeur consignée et permet le réglage de la vitesse et du sens de rotation de la tête de soudage.
L'appareil est conçu pour utiliser les procédés de soudage à l'arc MIG et MAG.

PROCÉDÉ CASTOLIN IDWELD

Procédé CASTOLIN IDWELD commercialisé depuis les années 80 dans les industries mécaniques pour la réparation en atelier ou sur chantier de paliers d'arbre moteur, de bras de levage, de moyeu de roue,...
Suivant l'application, ce procédé s'emploie pour passer des fils pleins d'assemblage ou de rechargement de diamètres 0,8 ; 1,0 et 1,2 mm.
La source de courant MIG associée à ce procédé est choisie suivant le diamètre de fil et la puissance de soudage nécessaire dans la gamme CASTOLIN CastoMig 250, 350, 400 ou 500.

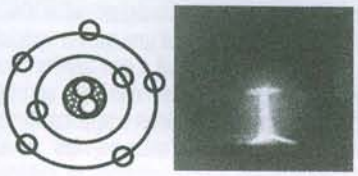
Pour plus d'informations, se référer à la fiche technique du procédé CASTOLIN IDWELD.

12.4. PLASMA À ARC TRANSFÉRÉ P.T.A.

PROCÉDÉ

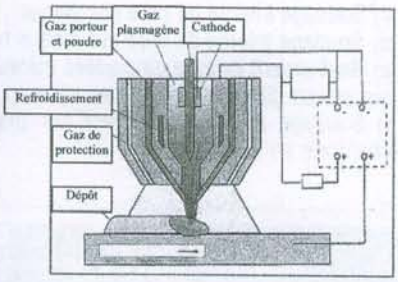
Plasma à Arc Transféré PTA (Plasma Transfered Arc) – Ce procédé permet le rechargement de pièces de toutes formes à l'aide d'alliages métalliques. Procédé à haute température, il offre la possibilité de réaliser des dépôts résistant à de fortes contraintes. Ce procédé est généralement utilisé sur des machines automatisées.

PRINCIPE DU PLASMA À ARC TRANSFÉRÉ



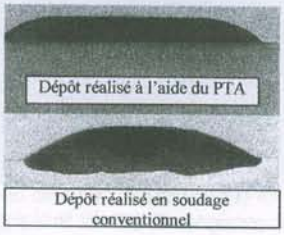
Le plasma est le quatrième état de la matière : solide, liquide, gazeux, plasma.
Le phénomène se produit à l'échelle atomique.
Un atome, lorsqu'il se trouve à l'état stable, est constitué d'un noyau et d'électrons en orbites.
Cet atome est très mauvais conducteur électrique.
Lorsque l'on augmente la température, les électrons vont s'agiter, se libérer de l'attraction exercée par le noyau et passer à l'état excité ; le gaz sera alors ionisé et devenu électriquement conducteur.
L'effet plasma s'obtient par l'action combinée de la ionisation du gaz et du confinement de celui-ci. La température du plasma est de 15 000°C à 30 000°C (selon les gaz ionisés).

FONCTIONNEMENT



On initie un arc pilote HF entre la cathode et l'anode de la torche afin d'ioniser le gaz plasmagène. L'arc est ensuite transféré sur la pièce à traiter qui joue alors le rôle d'anode. La constriction de l'arc génère de très hautes températures.
Lorsque le courant et la tension sont stabilisés, on enclenche le distributeur de poudre. En quelques fractions de seconde, la poudre introduite dans la colonne plasma est fusionnée et soudée sur la pièce.

AVANTAGES



Avantages du procédé PTA :
- Haute densité d'énergie
- Haute capacité de dépôt – jusqu'à 20 kg/h
- Homogénéité du dépôt et pas de porosité
- Faible dilution
- Excellente reproductibilité
- Facilement automatisable
- Accepte des géométries de pièces très variées
- Gamme importante de matériaux déposables
- Excellent état de surface
- Faible affectation thermique de la pièce rechargée.

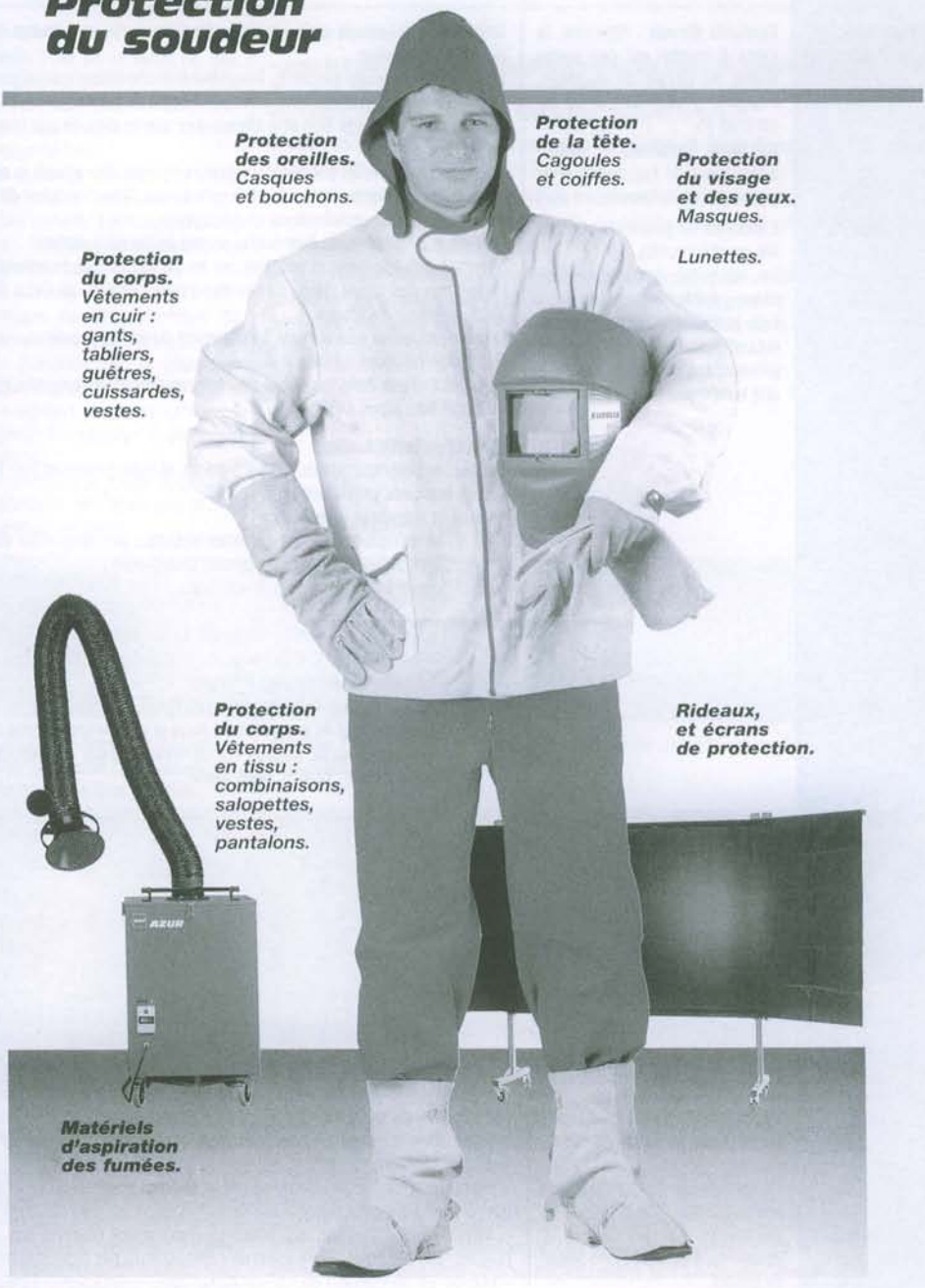
PROCÉDÉ CASTOLIN GAP PTA

Procédé CASTOLIN GAP PTA commercialisé depuis les années 80 dans les industries mécaniques pour le rechargement de soupape, dents de broyeur, dents de herse, pointes de sous-soleuse, siège de vannes, moule de verreries,...
Il permet de déposer des alliages métalliques **base Co** pour les applications de frottement métal/métal, les applications de tenue à l'oxydation, à la chaleur ; **base Ni** pour les applications de tenue à la chaleur et aux chocs thermiques ; **base Fe** pour les applications anti-usure sur outillage.
On peut, avec ce procédé, déposer l'ensemble des alliages soudables sous forme de poudre, y compris des compositions non tréfilables (ce qui élimine le procédé MIG/MAG).

Pour plus d'informations, se référer aux fiches techniques des procédés CASTOLIN GAP 3000.

TENUE DU SOUDEUR

Protection du soudeur


Protection des oreilles. Casques et bouchons.
Protection de la tête. Cagoules et coiffes.
Protection du visage et des yeux. Masques.
Lunettes.
Protection du corps. Vêtements en cuir : gants, tabliers, guêtres, cuissardes, vestes.
Protection du corps. Vêtements en tissu : combinaisons, salopettes, vestes, pantalons.
Rideaux, et écrans de protection.
AZUR
Matériels d'aspiration des fumées.

Prévention des risques professionnels (P.R.P.) — d'après documentation INRS fiche ED33

RISQUES		MESURES DE SÉCURITÉ ET MOYENS DE PRÉVENTION
Manifestation	**Origine**	**Protections individuelles et collectives**
Électrisation Électrocution **Brûlures**	**Contacts directs** : Attention, la pièce à souder est une partie active du circuit de soudage. (Tension à vide de l'ordre de 60 à 90 V). **Contacts indirects** : défaut d'isolement de l'appareillage et protections insuffisantes. L'absence de protection contre les courts-circuits. La mauvaise continuité électrique : échauffement. Les projections de particules incandescentes et la chaleur provenant d'éléments portés à une température élevée.	Conformité du circuit d'alimentation électrique avec les textes réglementaires et les normes en vigueur. Partie active du porte-électrode inaccessible à une bille d'acier d'un diamètre de 12 mm. Porte-électrode à isolation complète avec degré de protection IP 2X ou IP XXB. Le circuit de soudage doit être séparé des autres circuits par une isolation double ou renforcée. Si l'isolement complet par rapport à la terre ne peut être assuré, la connexion à cette dernière doit se situer au plus près du point de soudage. S'assurer de la liaison équipotentielle des éléments conducteurs environnants. Utilisation de matériel en bon état et adapté au travail à réaliser. Maintien des appareils et accessoires en parfait état de fonctionnement : vérification périodique des connexions, de l'isolement des câbles, de l'état du porte-électrode et du connecteur de pièces. Un soin particulier sera apporté à l'isolement du circuit de retour. Nettoyage fréquent du matériel. Pour les travaux dans les **enceintes très conductrices exiguës**, le générateur de courant doit être placé à l'extérieur **Protection individuelle :** – mains et poignets : gants à 3 ou 5 doigts et manchettes en cuir traité « antichaleur » avec coutures protégées ; – pieds et membres inférieurs : * brodequins en cuir à semelles isolantes, antidérapantes et coquilles d'acier ; * bottes en cuir ou chloroprène (néoprène) ; * guêtres en cuir ou toile ignifugée ; – corps : * vêtement de travail : ensemble veste-pantalon en tissu difficilement inflammable tel le coton ignifugé, ajustable au niveau du cou et dépourvu de plis ou revers avec poches à rabats ; * tablier en cuir (basane) ou tissu ignifugé enduit ; * survêtement de complément dans le cas de projections abondantes, de chaleur rayonnante intense ou de travaux dans un espace réduit, humide et conducteur : boléro, gilet, veste.
	Textes officiels Décret N° 88-1056 du 14 novembre 1988 Décret N° 92-765, N° 92-766 et N° 92-768 du 29 juillet 1992 Décret N° 93-41 du 11 janvier 1993 Arrêté ministériel du 14 décembre 1988 Loi N° 91-1414 du 31 décembre 1991 Soudage à l'arc INRS, ED 360 Fiche de documentation AFNOR. A 85002 Normes : NFC 15-100 – NF A 85-600 – NF EN 169/175/369/407/470-1 Permis de feu	
Incendie Explosion	L'action de l'arc et/ou d'échauffements liés à l'usage de l'électricité. La présence de substances combustibles, inflammables et explosives sur les pièces à souder ou à proximité du poste de travail.	**Préparation du travail :** – élimination sur une surface suffisante des résidus, enduits ou peintures adhérant aux parois des éléments ; – dissolution des graisses ou lubrifiants et éloignement des bacs de dégraissage et autres liquides combustibles ; – dégazage et nettoyage des volumes creux ayant contenu des substances inflammables, ventilation et vérification de l'atmosphère par explosimétrie ; – prévoir un revêtement de sol ininflammable ou difficilement inflammable.
	Textes officiels Permis de feu.	

Prévention des risques professionnels (P.R.P.) — d'après documentation INRS fiche ED33

RISQUES		MESURES DE SÉCURITÉ ET MOYENS DE PRÉVENTION
Manifestation	**Origine**	**Protection individuelles et collectives**
Affections ou intoxications : **– appareil respiratoire** **– appareil digestif** **– œil** **– peau**	Inhalation, ingestion, contacts avec l'œil ou la peau de gaz, vapeurs, fumées, poussières insalubres, incommodes, irritants ou toxiques émis au voisinage de l'arc : – produits de décomposition thermique ou photochimique des enduits, peintures, graisses ou lubrifiants recouvrant les pièces « sales » ; – produits de dégradation thermique ou photochimique de solvants de dégraissage ; – pollution par le phosgène pour les solvants chlorés ; – vapeurs nitreuses formées à partir de l'oxygène et de l'azote de l'air ; – produits de fusion et de volatilisation de l'électrode et des métaux de base.	**Assainissement :** – pour le travail en atelier, les solutions préconisées sont les suivantes : aspiration au plus près de la source d'émission, masques aspirants, cabines de soudage, tables aspirantes, aspiration localisée déplaçable, caissons aspirants ; – dans les espaces confinés, l'aspiration est réalisée à l'aide d'une buse de captage mobile associée à une ventilation avancée ; – l'introduction d'air neuf et le contrôle fréquent de l'atmosphère sont impératifs dans les enceintes où l'aération est suffisante ou ayant contenu des substances toxiques et/ou inflammables ou explosibles ; – dans l'impossibilité technique d'implanter un système de ventilation localisée, la protection respiratoire est assurée par un masque enveloppant à adduction d'air. Il peut être autonome et le choix de l'appareil adapté relève de la compétence d'un expert.
	Textes officiels Guide pratique de ventilation 7, INRS, ED 668 Fiche pratique de sécurité INRS, ED 034 Aération et assainissement des ambiances de travail. INRS, ED 720 Documents pour le médecin du travail. INRS, 1986, 27. Fiche pratique de sécurité. INRS, ED 005.	
Anoxie **Asphyxie**	Appauvrissement en oxygène de l'air respirable dans une enceinte de dimensions réduites.	Aération suffisante, voire forcée dans les endroits confinés de soudage. A défaut, port d'un masque respiratoire.
	Textes officiels Guide pratique de ventilation 7, INRS, ED 668.	
Kérato-conjonctivites **Érythèmes** **Lésions rétiniennes** **Cataractes** **Brûlures rétiniennes** **Brûlures du visage ou de l'œil**	Rayonnement de l'arc (lumière visible, ultraviolet, infrarouge) U. V U.V. Effet photochimique de la lumière bleue. Proche UV, Visible, IR. Visible, Proche IR. Proche IR, IR.	Protection individuelle de l'œil et mise en place d'écrans (rideaux souples, vitres d'opacité appropriée, panneaux rigides). Application de peinture absorbant les rayons ultraviolets sur les parois entourant le poste de soudage et utilisation d'écrans intermédiaires pour se protéger des éléments réfléchissants. Protection de la tête et de l'œil : port d'un masque à serre-tête équipé d'un filtre optique d'opacité appropriée.
	Textes officiels Fiche pratique de sécurité INRS, ED 019 – Norme NF EN 169	
Interférences radioélectriques	Perturbations dues aux appareils de soudage sur des implants actifs et des commandes de machines et appareils de levage voisins.	S'assurer de la compatibilité électromagnétique des implants actifs et des circuits de commande des machines environnantes (levage et manutention, notamment).
	Textes officiels Décret n° 92-537 du 26 juin 1992 modifié relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques	

EXEMPLE DE PERMIS DE FEU

DEMANDEUR : Signature :
(Chef d'entreprise ou son représentant)

EXÉCUTANT : Signature :
(Responsable de l'intervention)

ENTREPRISE EXÉCUTANTE : Date :

TRAVAIL À EXÉCUTER

Références de l'ordre de travail :
Date de début des travaux :
Durée d'exécution des travaux :
Désignation des travaux :

Découpage ❒ Soudure électrique ❒
Autres travaux : Soudure au chalumeau ❒

CONDITIONS D'EXÉCUTION

Date :

Par qui ?
Délimitation de la zone de danger :
Retrait des produits inflammables :
Protection des éléments combustibles fixes :
Mise en place des moyens de lutte appropriés :

Risques particuliers	Précautions à prendre

ALERTE EN CAS D'INCENDIE OU D'ACCIDENT

Emplacement des moyens d'alerte :

Au téléphone, appeler le n°
Préciser : – *le lieu*
– *la nature du sinistre ou de l'accident*

Dans tous les cas :
– *ne raccrochez pas le premier*
– *prévoyez des personnes pour diriger les secours*

Nota : Pour commander les films (prêt), les brochures et les affiches sur la Prévention des Risques Professionnels (PRP) réalisés par l'Institut National de Recherche et de Sécurité, adressez-vous au service Prévention de votre Caisse Régionale Assurance Maladie (CRAM) ou Caisse Générale de la Sécurité Sociale CGSS.

14. LEXIQUE DU SOUDAGE

A

Âme métallique d'une électrode de soudure :
Fil central métallique de forme cylindrique noyé dans un enrobage. Les électrodes sont caractérisées par :
- La nuance et la qualité d'acier qui la constitue.
- Le diamètre (valeur allant de 1,6 à 6 mm).
- La longueur (varie de 300 à 450 mm)

Amorçage :
Opération qui consiste à établir l'arc électrique.

Amorçage progressif
Le fil avance d'abord à vitesse lente jusqu'au point de court-circuit et d'amorçage de l'arc ; la vitesse de soudage choisie s'établit alors.

Anode :
Polarité positive du courant électrique.

Anticollage (ou bum back)
L'arc reste allumé pendant un temps très court (parfois réglable) après arrêt du dévidage. Ceci a pour effet d'éviter que le fil reste collé dans le bain à l'extinction de l'arc et de faciliter l'amorçage suivant.

Arc électrique :
L'arc électrique fournit l'énergie nécessaire à la fusion du métal d'apport (MA) et du métal de base des pièces à assembler.

B

Bain de fusion :
Zone du soudage où s'effectue la fusion des pièces à souder avec ou sans métal d'apport. Un dispositif de protection gazeuse peut être mis en place autour de ce bain de fusion.

Brasage :
L'Assemblage par brasure de deux pièces métalliques de nature identique ou différente, consiste à combler un joint par capillarité ou infiltration, d'un métal d'apport dont la température de fusion est inférieure à celle des pièces soudées.

Buse :
Tube se raccordant à l'extrémité du chalumeau et assurant l'écoulement d'un mélange gazeux. La buse est caractérisée par son calibre ou ajutage.

C

Capillarité :
Phénomènes physiques constatés lors du dépôt d'un métal d'apport à un endroit quelconque de l'assemblage. La diffusion se fait partout dans le joint où la température est supérieure ou égale à la température de fusion du métal d'apport et les conditions de feu sont réunies.

Cathode :
Polarité négative du courant électrique.
L'électrode est la source primaire d'électrons dans un tube ou canon électronique. (soudage par faisceau d'électrons).

Chalumeau :
Appareil produisant une flamme très chaude par combustion d'un gaz, et que l'on utilise pour souder ou découper les métaux.

Chanfrein :
Surface obtenue en abattant l'arête d'une pièce de métal ; il permet la soudure sur toute l'épaisseur de la pièce.

Comburant :
Se dit d'un corps qui, par combinaison avec un autre, amène la combustion de ce dernier (ex. : l'oxygène).

Convertisseur de fréquence :
Dispositif assurant une conversion d'énergie, l'une de ces énergies, au moins, étant de nature électrique.

Couples fil/flux :
Le couple fil/flux permet de souder correctement deux pièces ou un ensemble de pièces. Le choix est fonction de plusieurs facteurs (composition chimique du métal, modes d'utilisation de ou des ensembles soudés,...). Des tableaux fabricants facilitent le bon choix du couple fil/flux qui revêt une grande importance dans l'exécution.

Courant :
Mouvement d'ensemble de particules chargées électriquement. On trouvera le courant continu dont l'intensité reste constante et le courant alternatif qui est un courant périodique dont l'intensité reprend au bout d'une demi-période la même valeur, changée de signe.

D

Débit :
Quantité de fluide ou de gaz qui s'écoule ou qui est fournie par unité de temps : par exemple le débit de l'acétylène peut être de 10 à 5000 l/h. On tiendra compte des conditions de soudage (épaisseurs des pièces, des matériaux...).

DMOS :
Descriptif des modes opératoires de soudage suivant la norme EN 288
On trouvera également :
Q.M.O.S : Qualification d'un mode opératoire de Soudage.
PV-QMOS : Procès verbal d'une qualification d'un Mode Opératoire de soudage.

Dévidage du fil :
Instrument ou appareil sur lequel on enroule des fils adaptés aux types d'aciers à souder et de diamètres variant entre 0,5 à 2,4 mm, afin de pouvoir les dérouler automatiquement et rapidement.

E

Évanouissement de l'arc ou (crater filler) progressif :
Permet la finition correcte de la soudure en supprimant le cratère de fin de cordon par une extinction progressive de l'arc.

F

Faisceau d'électrons :
Les électrons sont émis par la cathode et canalisés dans un canon d'électrons, fonctionnant sous vide. Les électrons en faisceaux se centrent sur le métal de base et provoquent un impact, générateur de la température de fusion et nécessaire au soudage.

Fils fourrés :
Le soudage avec fil fourré est une technique de soudage à l'arc électrique (le plus souvent en M.A.G.) avec électrode fusible en atmosphère gazeuse ou sans protection gazeuse.

Flamme :
C'est un phénomène lumineux produit, dans le cas du soudage, par une substance en combustion.

Flux :
Ce sont des poudres, pâtes, gelées ou gaz à base d'acide borique déposés sur le joint, l'enrobant de la baguette ou la surface d'un métal en fusion afin d'affiner, de fluidifier et de protéger ce métal de l'oxydation de l'air.

Fourrage :
Le fourrage joue plusieurs rôles importants proches de l'enrobage des électrodes. Ils ont une influence métallurgique, physique et électrique.

Fréquence :
Nombre d'événements se produisant dans un temps donné (MHz/seconde).

Fusion :
C'est le passage de l'état solide à l'état liquide sous l'action de la chaleur : métal en fusion.

G

Gaz :
- **Acéthylène :** C'est un **hydrocarbure** non saturé gazeux, $C_2 H_2$, obtenu notamment en traitant le carbure de calcium par l'eau.
- **Oxygène :** C'est un **gaz incolore,** inodore et sans saveur ; élément (O_2).

I

Inducteur (shunt magnétique) :
L'inducteur produit un phénomène d'induction électrique. Un aimant ou un électroaimant est destiné à fournir le champ magnétique créateur de l'induction. Dans le **cas du soudage,** l'inducteur ne touche pas la pièce : il produit un courant à haute fréquence qui parcourt la surface des pièces et apporte l'échauffement des bords à assembler, ces derniers étant l'obstacle à son passage.

Intensité :
Quantité d'électricité que débite un courant.

J

Joule (effet) :
L'effet Joule se manifeste par un dégagement de chaleur dans un conducteur homogène parcouru par un courant électrique.

Le **joule** est l'unité de mesure de travail, d'énergie et de quantité de chaleur (**symb. J**), équivalant au travail produit par une force de 1 newton, dont le point d'application se déplace de 1 m dans la direction de la force.

Joint :
Ligne d'assemblage de deux éléments fixes obtenue par soudage homogène ou hétérogène.

M

Métal d'apport :
Le métal d'apport constitue le cordon de soudure, dont la composition chimique est très voisine du métal de base des deux pièces à assembler.

M.I.G. (metal inert gas) :
Procédé de soudage à l'arc avec un fil fusible. Ce fil est déroulé dans l'arc allumé et le métal en fusion se dépose dans le bain de soudure. Celui-ci est protégé par un gaz inerte.

M.A.G. (metal active gas) :
Même description que le procédé MIG mais le gaz de protection est actif (CO_2 ou mélange + CO_2).

M.I.G. pulsé :
Le courant varie pendant le soudage, le générateur lui imposant une « forme d'onde » bien précise. Le pulsé est surtout utilisé pour les fils pleins en inox et alliages légers.

M.I.G. pulsé « bras bruit » :
Réduction notable du bruit avec un arc plus doux et un meilleur mouillage du cordon.

M.I.G. synergique :
Les paramètres de soudage sont programmés dans le générateur pour évoluer ensemble selon une loi prédéfinie. Un seul réglage est alors nécessaire, ce qui facilite l'utilisation des appareils et améliore la qualité du soudage.

Mode 2 temps :
Le soudage se fait gâchette de torche appuyée. Il s'arrête au relâchement de la gâchette.

Mode 4 temps classique :
Le prégaz s'effectue à l'appui de la gâchette, puis le soudage démarre lorsqu'on la relâche ; puis à l'appui suivant sur la gâchette, le soudage s'arrête et le postgaz restera actif jusqu'au relâchement de la gâchette.

Mode Point :
Le générateur commence à souder dès que l'on appuie sur la gâchette de la torche de soudage et s'arrête automatiquement après une temporisation réglable.

Mode intermittent :
C'est un mode point qui se répète. Si l'appui sur la gâchette est maintenu, le soudage reprendra après une autre temporisation, elle aussi réglable.

O

Oxycoupage :
Procédé de coupage thermique.

Oxydation :
Combinaison avec l'oxygène, ex : Fe_2O_3 composé de 2 atomes de fer et de 3 atomes d'oxygène. C'est l'état de ce qui est oxydé. Lors du soudage on empêche l'oxydation avec un gaz inerte à base d'argon ou d'hélium (protection gazeuse, atmosphère inerte).

P

Paramètres :
Dans une expression ou une équation, lettre autre que la variable et dont on peut fixer la valeur numérique.
Exemples de paramètre en soudage :
- E = Énergie en J.
- U = Tension.
- I = Intensité.
- V = Vitesse.

Piquage (nettoyage) :
Opération qui consiste à supprimer le laitier après l'exécution de la soudure.

Pistolet :
La torche ou pistolet se trouve après le dévidoir, au niveau des pièces à assembler. Elle assure l'approvisionnement et le guidage du fil ainsi que la protection gazeuse grâce à sa buse. Elle peut être dotée d'un circuit de refroidissement par eau pour les fortes intensités. D'autres aménagements peuvent lui être dédiés si besoin est.

Pression :
La pression des gaz de soudage souhaitée et la régulation pour souder sont obtenues par un mano-détendeur muni de soupape de sûreté limitant la pression.

Puissance :
C'est la puissance nominale d'une machine indiquée par le constructeur et correspondant au travail produit par la machine en une seconde, lorsque sa marche est normale.

Pulvérisation axiale :
Manière dont s'effectue le transfert dans l'arc électrique. Elle est fonction des caractéristiques électriques (intensité, tension de l'arc) et de la nature du gaz.

R

Radiations :
Émission de particules ou d'un rayonnement monochromatique ; ces particules ou ce rayonnement eux-mêmes.

Régulation de vitesse
Le dévidage du fil de soudage est régulé électroniquement, ce qui lui impose une vitesse de dévidage constante.

Résistance :
Dipôle passif dans lequel toute l'énergie électrique mise en jeu est convertie en chaleur par effet Joule.

S

Soudage :
Opération qui consiste à faire une soudure.

Soudure :
Assemblage permanent de deux pièces métalliques ou de certains produits synthétiques, exécuté par voie thermique.

Soudo-brasage :
Soudure obtenue par interposition entre les pièces à joindre d'un alliage ou d'un métal fusible (métal d'apport) dont la température est inférieure à celle des métaux de base.

Soudage à l'arc : termes utilisés :

Dynamisme d'amorçage (Hot start)
Système facilitant l'amorçage de l'arc en fonction du type d'électrode enrobée utilisée (rutile, basique, cellulosique).

Dynamique d'arc (Arc force)
Système optimisant la fusion des électrodes par un apport d'énergie en fonction du type d'électrodes (rutile, basique, cellulosique).

Anticollage
Ce dispositif réduit la puissance dans le cas de collage de l'électrode dans le bain de soudage et évite ainsi le coup d'arc lors du détachement de l'électrode.

Système antiboule
En fin de cycle de soudage en régime short arc, ce dispositif évite la formation de boule à l'extérieur du fil ce qui favorise considérablement le réamorçage de l'arc.

T

Température :
Grandeur physique qui caractérise de façon objective la sensation de chaleur ou de froid laissée par le contact d'un corps. Symbole θ (thêta).

Tension :
Grandeur définie à une constante près, caractérisant les corps électrisés et les régions de l'espace où règne un champ électrique, et liée au travail produit par le champ électrique (on mesure des différences de potentiel [d. d. p.], ou tensions).
On sait que la tension d'amorçage varie suivant le type et le diamètre de l'électrode.

Torche *:*
La torche ou pistolet se trouve après le dévidoir, au niveau des pièces à assembler ; elle assure l'approvisionnement et le guidage du fil ainsi que la protection gazeuse grâce à sa buse. Elle peut être dotée d'un circuit de refroidissement par eau pour les fortes intensités. D'autres aménagements peuvent lui être dédiés si besoin est.

Transformateur *:*
Appareil statique à induction électromagnétique, qui transforme un système de tensions et de courants alternatifs en un ou plusieurs autres systèmes de tensions et courants de même fréquence mais généralement de valeurs différentes. Il existe plusieurs types de transformateurs :
• Le statique toujours monophasé, qui fournit du courant alternatif à 50 hertz. Il est très utilisé.
• Le statique monophasé ou triphasé équipé d'un redresseur (thyristors ou diodes). La sortie du courant est continue.
• Le rotatif : génératrice qui fournit un courant continu ou le rotatif qui utilise un convertisseur de fréquence alimenté soit par une énergie thermique soit une énergie électrique. On trouve en sortie un courant alternatif variant de 150 à 450 Hertz.

U

U.V. (rayons ultraviolets) :
Se dit des radiations invisibles à l'œil humain placées dans le spectre au-delà du violet, et dont la longueur d'onde est plus petite que celle du violet et plus grande que celle des rayons X mous (ces radiations utilisées ne sont pas exemptes de dangers.). Le mode de propagation de l'énergie se fait sous forme d'ondes ou de particules.
Les machines à souder par faisceau d'électrons sont assujetties à des normes de sécurité strictes qui doivent être obligatoirement respectées.

V

Vide :
Qui ne contient rien, ni objet ni matière : travail sous vide.

Vitesse de soudage :
La vitesse de soudage représente la longueur soudée en centimètre par minute (cm/min). Les vitesses de soudage en automatique sont nettement supérieures à celles obtenues en soudage manuel (environ 10 à 20 cm/min).

Vitesse de dévidage :
Rapport de la longueur parcourue par le fil électrode fusible et le temps mis à la parcourir. (Ex : un groupe motodévideur de fil peut permettre un réglage continu de la vitesse du fil jusqu'à 20 m/min).

Z

Zone de fusion :
Espace délimité sur une surface où s'exerce l'action de soudage. (Passage des éléments solides dans cette zone à l'état liquide sous l'action de la chaleur).

Nota : Pour tous les problèmes de vocabulaire technique ou de traduction, il existe des documents édités par la profession (SNCT, OTUA,...) et par les fabricants de matériels et de produits de soudage.

15. ANNEXES

CE QU'IL FAUT SAVOIR SUR LES PRINCIPAUX MÉTAUX

Métal	Symbole chimique	Point de fusion °C	Résistivité Ω mm^2/m	Dureté Brinell (MPa)	Résistance à la traction (g/cm^2)	Masse spécifique
Fer	Fe	1535	0,10	45-80	200	7,8
Cuivre	Cu	1083	0,017	60-80	160-200	8,9
Aluminium	Al	658	0,028	25-40	90-180	2,7
Magnésium	Mg	650	0,044	30-40	150-200	1,7
Plomb	Pb	327	0,20	4-7	15-20	11,3
Zinc	Zn	420	0,059	40-50	200-250	7,1
Étain	Sn	232	0,115	10-15	20-40	7,3
Cadmium	Cd	321	0,068	20-30	50	8,6
Nickel	Ni	1452	0,068	150-220	400-800	8,9
Chrome	Cr	1800	0,13	800-1100	-	7,2
Tungstène	W	3400	0,055	650-800	max. 400	19,3
Vanadium	V	1720	0,26	-	-	6,0
Molybdène	Mo	2622	0,051	150-250	max. 2800	10,3
Manganèse	Mn	1242	1,85	3-5	500	7,2
Cobalt	Co	1495	0,062	130-180	500	8,9
Titane	Ti	1800	0,80	-	600-800	4,5
Argent	Ag	961	0,016	25-35	150-200	10,5
Or	Au	1063	0,022	25-30	120-150	19,3
Platine	Pt	1773	0,10	35-40	100-150	21,4
Acier	Fe + C	1400-1500	0,18	120-250	400-800	7,7-8,0
Acier coulé	Fe + C	1200-1400	-	120-180	400-800	7,7-8,0
Fonte grise	Fe + C	1130-1200	-	170-220	150-300	7,2
Fonte malléable	Fe + C	1200-1400	0,159	110-220	350-450	7,3
Laiton	Cu + Zn	900 env.	0,064-0,084	70-140	300-500	8,4-8,7
Tombac	Cu (73-85 %) + Zn	900 env.	0,82	60-120	250-400	8,5-8,8
Bronze	Cu + Sn	900 env.	0,135-0,180	100-200	150-200	8,8-8,9
Monel	Cu + Ni	1300-1350	0,487	100-150	500-600	8,4-8,9
Maillechort	Cu + Zn + Ni	900-1100	0,20	150-180	400-700	8,6-8,8

Les valeurs indiquées ci-dessus sont tirées de différents traités de métallurgie.

15.1. MULTIPLES ET SOUS-MULTIPLES

NF X 02-006

Facteur	Préfixe à placer avant l'unité	Symbole à placer avant celui de l'unité	Facteur	Préfixe à placer avant l'unité	Symbole à placer avant celui de l'unité
10^{18} ou 1 000 000 000 000 000 000	exa	E	10^{-1} ou 0,1	déci	d
10^{15} ou 1 000 000 000 000 000	peta	P	10^{-2} ou 0,01	centi	c
10^{12} ou 1 000 000 000 000	téra	T	10^{-3} ou 0,001	milli	m
10^{9} ou 1 000 000 000	giga	G	10^{-6} ou 0,000 001	micro	µ
10^{6} ou 1 000 000	méga	M	10^{-9} ou 0,000 000 001	nano	n
10^{3} ou 1 000	kilo	k	10^{-12} ou 0,000 000 000 001	pico	p
10^{2} ou 100	hecto	h	10^{-15} ou 0,000 000 000 000 001	femto	f
10^{1} ou 10	déca	da	10^{-18} ou 0,000 000 000 000 000 001	atto	a

15.2. RÈGLES GÉNÉRALES D'ÉCRITURE DES SYMBOLES

NF X 02-001

RÈGLE	EXEMPLE
Seuls les symboles normalisés (lorsqu'ils existent) doivent être utilisés.	
Les **symboles de grandeur** s'écrivent en caractères italiques (penchés), sans point final.	***V*** : volume
Les **symboles d'unités**, les symboles chimiques, les symboles d'opérateurs et les chiffres s'écrivent en caractères romains (droits) sans point final et sans marque de pluriel.	**Hz** : hertz tan : tangente **Cu** : cuivre 62 kg
Les **indices littéraux** (inférieurs et supérieurs) lorsqu'ils représentent des symboles de grandeurs physiques ou mathématiques s'écrivent en caractères italiques ; les autres en caractères romains.	***qm*** : débit masse
Les **symboles des dimensions d'une grandeur** s'écrivent en majuscules romaines.	**M, L, J...**

15.3. SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS

Le système international d'unités comporte sept unités de base qui sont : le ***mètre***, le ***kilogramme***, la ***seconde***, l'***ampère***, le ***kelvin***, la ***mole*** et la ***candela***.

Toutes les unités dérivées résultent de la combinaison de ces unités de base.

	GRANDEURS			UNITÉS		
	Nom	Symbole	Dimension	Nom	Symbole	Observations
ESPACE ET TEMPS NF X 02-201	**angle** (angle plan)	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$, etc.	sans	**radian**	rad	
				tour	tr	1 tr = 2π rad
				degré	°	$1° = \frac{\pi}{180}$ rad
				minute (d'angle)	'	$1' = \frac{1°}{60} = \frac{\pi}{10\,800}$
				seconde (d'angle)	"	$1" = \frac{1°}{3\,600} = \frac{\pi}{648\,000}$
	angle solide	$\Omega(\omega)$	sans	**stéradian**	sr	
	longueur	$l\ (L)$	L	**mètre**	m	

	GRANDEURS			UNITÉS		
	Nom	Symbole	Dimension	Nom	Symbole	Observations
ESPACE ET TEMPS (suite)	aire superficie	A S	L^2	mètre carré	m^2	
				are	a	$1\ a = 10^2\ m^2$
	volume	V	L^3	mètre cube	m^3	
				litre	L	$1L = 10^{-3}\ m^3$
	temps, intervalle de temps, durée	t	T	seconde	s	
				minute	min	1 min = 60 s
				heure	h	1 h = 60 min = 3 600 s
				jour	d	1 d = 24 h = 86 400 s
	vitesse angulaire	ω	T^{-1}	radian par seconde	$rad \cdot s^{-1}$	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
	accélération angulaire	α	T^{-2}	radian par seconde carrée	$rad \cdot s^{-2}$	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$
	vitesse	u, v, w, c	LT^{-1}	mètre par seconde	$m \cdot s^{-1}$	$v = \frac{ds}{dt}$
				kilomètre par heure	$km \cdot h^{-1}$	$1\ km/h = \frac{1}{3\,600}\ m/s = 0{,}277\,778\ m/s$
	accélération accélération due à la pesanteur, champ de pesanteur	a g	LT^{-2}	mètre par seconde carrée	$m \cdot s^{-2}$	$a = \frac{dv}{dt}$ Valeur conventionnelle du champ de pesanteur : $g_n = 9{,}806\,65\ m \cdot s^{-2}$
PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES NF X 02-202	période	T	T	seconde	s	
	fréquence	f, V	T^{-1}	hertz	Hz	
	fréquence de rotation	n	T^{-1}	seconde à la puissance moins un	s^{-1}	
	pulsation	ω	T^{-1}	radian par seconde	$rad \cdot s^{-1}$	
	déphasage, différence de phase	φ	sans	radian	rad	
	longueur d'onde	λ	L	mètre	m	
MÉCANIQUE NF X 02-203	masse	m	M	kilogramme	kg	
				tonne	t	$1t = 10^3\ kg$
				carat métrique		$1\ carat\ métrique = 2 \times 10^{-4}\ kg$
	masse volumique	ρ	$L^{-3}M$	kilogramme par mètre cube	$kg \cdot m^{-3}$	
				tonne par mètre cube	$t \cdot m^{-3}$	$1\ t \cdot m^{-3} = 10^3\ kg \cdot m^{-3} = 1g \cdot cm^{-3}$
				kilogramme par litre	$kg \cdot L^{-1}$	$1\ kg \cdot L^{-1} = 10^3\ kg \cdot m^{-3} = 1g \cdot cm^{-3}$
	densité (densité relative)	d	sans			
	volume massique	v	L^3M^{-1}	mètre cube par kilogramme	$m^3 \cdot kg^{-1}$	
	masse linéique	ρ_l	$L^{-1}M$	kilogramme par mètre	$kg \cdot m^{-1}$	
				tex	tex	$1\ tex = 10^{-6}\ kg \cdot m^{-1}$

	GRANDEURS			UNITÉS		
	Nom	Symbole	Dimension	Nom	Symbole	Observations
MÉCANIQUE (suite)	quantité de mouvement	p	LMT^{-1}	kilogramme-mètre par seconde	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$	
	moment cinétique, moment de quantité de mouvement	L	L^2MT^{-1}	kilogramme-mètre carré par seconde	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$	
	moment d'inertie (moment d'inertie dynamique)	I, J	L^2M	kilogramme mètre carré	$kg \cdot m^2$	
	force	F	LMT^{-2}	newton	N	$1\ N = 1\ m \cdot kg \cdot s^{-2}$
	poids	G, (P, W)				
	moment d'une force	M, T	L^2MT^{-2}	newton-mètre	N · m	
	pression	p	$L^{-1}MT^{-2}$	pascal	Pa	$1\ Pa = 1\ N \cdot m^{-2} = 1\ m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
				bar	*bar*	$1\ bar = 10^5\ Pa$
	contrainte tangentielle, cission	τ		pascal	Pa	$1\ Pa = 1\ N \cdot m^{-2} = 1m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
	contrainte normale	σ				
	coefficient de Poisson nombre de Poisson	μ, ν	sans			
	module d'élasticité longitudinal	E	$L^{-1}MT^{-2}$	pascal	Pa	$1Pa = 1\ N \cdot m^{-2} = 1\ m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
	module d'élasticité de glissement	G			$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ $G = \frac{\tau}{\gamma}$ $K = -\frac{p}{\theta}$	**Remarques** E est également appelé *module d'Young.* *G module de Coulomb.* Les déformations relatives ε, γ et θ correspondent aux accroissements des contraintes σ, τ et à l'accroissement de pression p.
	module de compressibilité volumique	K				
	module d'inertie	Z, W	L^3	mètre cube	m^3	
	facteur de frottement	μ, (f)	sans			
	glissement unitaire	γ	sans			
	moment quadratique (axial) d'une aire plane	I, I_a	L^4	mètre bicarré	m^4	
	moment quadratique polaire d'une aire plane	I_p, J				
	travail	W, (A)	L^2MT^{-2}	joule	J	$1\ J = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
	énergie	E, (W)				
	énergie potentielle	E_p, V, ϕ		wattheure	Wh	$1\ Wh = 3{,}6 \times 10^3\ J$
	énergie cinétique	E_k, K, T		électronvolt	eV	$1\ eV = 1{,}602\ 189\ 2 \times 10^{-19}\ J$
	puissance	P	L^2MT^{-3}	watt	W	$1\ W = 1\ J \cdot s^{-1} = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
	rendement (mécanique)	η	sans			

	GRANDEURS			UNITÉS		
	Nom	Symbole	Dimension	Nom	Symbole	Observations
THERMIQUE NF X 02-204	température Celsius	t, θ	θ	degré Celsius	°C	L'unité degré Celsius est égale à l'unité Kelvin
	température thermodynamique, température absolue	T	θ	kelvin	K	
	coefficient de dilatation linéique	α_l	θ^{-1}	kelvin à la puissance moins un	K^{-1}	
	compressibilité	κ	$LM^{-1}T^2$	pascal à la puissance moins un	Pa^{-1}	$1\ Pa^{-1} = 1\ m\ .\ kg^{-1}\ .\ s^2$
	quantité de chaleur	Q	L^2MT^{-2}	joule	J	$1\ J = 1m^2\ .\ kg\ .\ s^{-2}$
	densité de flux thermique	q, φ	MT^{-3}	watt par mètre carré	$W\ .\ m^{-2}$	$1\ W\ .\ m^{-2} = 1\ kg\ .\ s^{-3}$
	conductivité thermique	λ	$LMT^{-3}\theta^{-1}$	watt par mètre kelvin	$W\ .\ m^{-1}\ .\ K$	$1\ W\ .\ m^{-1}\ .\ K = 1\ m\ .\ kg.\ s^{-3}\ .\ K^{-1}$
	coefficient d'isolation thermique	M	$M^{-1}T^3\theta$	mètre carré – kelvin par watt	$m^2\ .\ K\ .\ W^{-1}$	$1\ m^2\ .\ K\ .\ W^{-1} = 1\ kg^{-1}\ .\ s^3\ .\ K$
	résistance thermique	R	$L^{-2}M^{-1}T^3\theta$	kelvin par watt	$K\ .\ W^{-1}$	$1\ K\ .\ W^{-1} = 1\ m^{-2}\ .\ kg^{-1}\ .\ s^3\ .\ K$
ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME NF X 02-205	courant électrique (intensité de courant électrique)	I	I	ampère	A	
	charge électrique, quantité d'électricité	Q	TI	coulomb	C	$1\ C = 1A\ .\ s$
	champ électrique	$E, (K)$	$LMT^{-3}I^{-1}$	volt par mètre	$V\ .\ m^{-1}$	$1\ V\ .\ m^{-1} = 1\ m\ .\ kg\ .\ s^{-3}\ .\ A^{-1}$
	potentiel électrique	$V, (\varphi)$	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	volt	V	$1\ V = 1\ W\ .\ A^{-1}$ $= 1\ m^2\ .\ kg\ .\ s^{-3}\ .\ A^{-1}$
	différence de potentiel, tension	$U, (V)$				
	force électromotrice	E				
	induction électrique, (déplacement)	D	$L^{-2}TI$	coulomb par mètre carré	$C\ .\ m^{-2}$	$1\ C\ .\ m^{-2} = 1\ m^{-2}\ .\ s\ .\ A$
	flux électrique (flux de déplacement)	ψ	TI	coulomb	C	$1\ C = 1A\ .\ s$
	capacité	C	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	farad	F	$1\ F = 1\ C\ .\ V^{-1} = 1\ m^{-2}\ .\ kg^{-1}\ .\ s^4\ .\ A^2$
	densité de courant	$J, (S)$	$L^{-2}I$	ampère par mètre carré	$A\ .\ m^{-2}$	
	densité linéique de courant	$A, (\alpha)$	$L^{-1}I$	ampère par mètre	$A\ .\ m^{-1}$	
	champ magnétique	H	$L^{-1}I$	ampère par mètre	$A\ .\ m^{-1}$	

	GRANDEURS				UNITÉS	
	Nom	Symbole	Dimension	Nom	Symbole	Observations
ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME (suite)	différence de potentiel magnétique	U_m	I	ampère	A	
	induction magnétique, densité de flux magnétique	B	$MT^{-2}I^{-1}$	tesla	T	$1\ T = 1\ Wb\ .\ m^{-2} = 1\ V\ .\ s\ .\ m^{-2} = 1\ kg\ .\ s^{-2}\ .\ A^{-1}$
	flux magnétique, flux d'induction magnétique	ϕ	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	weber	Wb	$1\ Wb = 1\ V\ .\ s = 1\ m^2\ .\ kg\ .\ s^{-2}\ .\ A^{-1}$
	inductance propre inductance mutuelle	L M, L_{12}	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	henry	H	$1\ H = 1\ Wb\ .\ A^{-1} = 1\ m^2\ .\ kg\ .\ s^{-2}\ .\ A^{-2}$
	perméabilité	μ	$LMT^{-2}I^{-2}$	henry par mètre	$H\ .\ m^{-1}$	$1\ H\ .\ m^{-1} = 1\ Wb\ .\ A^{-1}\ .\ m^{-1} = 1\ m\ .\ kg\ .\ s^{-2}\ .\ A^{-2}$
	moment magnétique	m	L^2I	ampère-mètre carré	$A\ .\ m^2$	
	aimantation	H, M	$L^{-1}I$	ampère par mètre	$A\ .\ m^{-1}$	
	résistance (en courant continu)	R	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ohm	Ω	$1\ \Omega = 1\ V\ .\ A^{-1} = 1\ m^2\ .\ kg\ .\ s^{-3}\ .\ A^{-2}$
	conductance (en courant continu)	G	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	siemens	S	$1\ S = 1\ A\ .\ V^{-1} = 1\ m^{-2}\ .\ kg^{-1}\ .\ s^3\ .\ A^2$
	résistivité	ρ	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	ohm-mètre	Ω . m	$1\ \Omega\ .\ m = 1\ m^3\ .\ kg\ .\ s^{-3}\ .\ A^{-2}$
	conductivité	γ, σ	$L^{-3}M^{-1}T^3I^2$	siemens par mètre	$S\ .\ m^{-1}$	$1\ S\ .\ m^{-1} = 1\ m^{-3}\ .\ kg^{-1}\ .\ s^3\ .\ A^2$
	impédance (impédance complexe)	Z	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ohm	Ω	$1\ \Omega = 1\ V\ .\ A^{-1} = 1\ m^2\ .\ kg\ .\ s^{-3}\ .\ A^{-2}$
	puissance, puissance instantanée	$P, (P_i)$	L^2MT^{-3}	watt	W	$1\ W = 1\ J\ .\ s^{-1} = 1\ m^2\ .\ kg\ .\ s^{-3}$
RAYONNEMENTS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUE ET OPTIQUE NF X 02-206	intensité lumineuse	$I, (I_v)$	J	candela	cd	
	flux lumineux	$\phi\ (\phi_v)$	J	lumen	lm	1 lm = 1 cd . sr
	quantité de lumière	$Q, (Q_v)$	TJ	lumen-seconde	lm . s	on utilise aussi le lumen-heure (lm . h) 1 lm . h = 3 600 lm . s
	luminance	$L, (L_v)$	$L^{-2}J$	candela par mètre carré	$cd\ .\ m^{-2}$	
	éclairement lumineux, éclairement	$E, (E_v)$	$L^{-2}J$	lux	lx	$1\ lx = 1\ lm\ .\ m^{-2} = 1\ cd\ .\ sr\ .\ m^{-2}$
CHIMIE/ PHYSIQUE ET PHYSIQUE MOLÉCULAIRE NF X 02-208	quantité de matière	$n, (\nu)$	N	mole	mol	
	masse molaire	M	MN^{-1}	kilogramme par mole	$kg\ .\ mol^{-1}$	
	volume molaire	V_m	L^3N^{-1}	mètre cube par mole	$m^3\ .\ mol^{-1}$	
	concentration	ρ_B	ML^{-3}	kilogramme par mètre cube	$kg\ .\ m^{-3}$	
	concentration molaire	C_B	$L^{-3}N$	mole par mètre cube	$mol\ .\ m^{-3}$	
	molarité	(m_B)	$M^{-1}N$	mole par kilogramme	$mol\ .\ kg^{-1}$	